



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**PROJEVY FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ STAVIV
V BUDOVÁCH V NÍZKOENERGETICKÉM
A PASIVNÍM STAVITELSTVÍ**

THE EFFECT OF PHYSICAL PROPERTIES OF BUILDING MATERIALS IN BUILDINGS
IN LOW-ENERGY CONSTRUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Svoboda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.

BRNO 2018

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce je studium projevů fyzikálních vlastností různých stávir v budovách v nízkoenergetickém stávitelství. Práce je zaměřena především na vliv tepelně akumuláčních vlastností stavebních materiálů užívaných v budovách za účelem dosažení nízké potřeby energie na vytápění. V práci jsou porovnávány energetické charakteristiky u pěti různých konstrukčně materiálových variant domu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nízkoenergetický dům, pasivní budovy, stavební materiály, tepelně technické vlastnosti stávir, tepelná akumulace, energetická náročnost budov.

ABSTRACT

The theme of the diploma thesis is the study of physical properties of various building materials in buildings in low-energy construction. The work is mainly focused on the influence of the thermal accumulation properties of building materials used in buildings in order to achieve low energy consumption for heating. The thesis compares the energy characteristics of five different constructional material variants of the house.

KEYWORDS

Low-energy house, passive building, building materials, thermal-technical properties of building materials, thermal accumulation, energy efficiency in buildings.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Martin Svoboda *Projevy fyzikálních vlastností staviv v budovách v nízkoenergetickém a pasivním stavitelství*. Brno, 2018. 78 s., 5 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2018

Bc. Martin Svoboda
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych především poděkovat svým rodičům za všestrannou podporu a důvěru během celého mého studia na vysoké škole. Dále děkuji panu prof. RNDr. Ing. Stanislavu Šťastníkov, CSc. za odborné vedení práce a ochotu při konzultacích.

OBSAH

Obsah	7
1 Úvod	10
1.1 Energie a stavebnictví	10
1.2 Společenské souvislosti a investice do budoucnosti	11
2 Základní charakteristiky budov s nízkou spotřebou energie	12
3 Současný stav řešené problematiky	14
3.1 Současná situace v Evropě a v ČR	14
3.2 Podpora a ekonomika nízkoenergetického stavění	15
4 Legislativa	16
4.1 Evropská legislativa o energetické náročnosti budov	16
4.2 Česká legislativa o energetické náročnosti budov	17
4.2.1 Prováděcí vyhlášky k zákonu č. 318/2012 Sb.	17
4.2.2 Energetické dokumenty	17
4.2.3 Další související zákony	18
4.2.4 České technické normy	18
5 Kategorie budov s nízkou energetickou náročností	20
5.1 Nízkoenergetické budovy	21
5.2 Pasivní budovy	21
5.3 Energeticky nulové budovy	22
5.4 Energeticky nezávislé budovy	22
6 Stavebně energetická koncepce budovy	23
6.1 Pozemek, umístění budovy a pasivní zisky	24
6.2 Přiměřenost a kompaktnost objemu	25
6.3 Solární energie a budova	26
6.4 Okna a zasklení	27

6.5	Správné užívání domu – chování uživatele.....	29
7	Tepelně technické vlastnosti	30
7.1	Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů	31
7.1.1	Součinitel tepelné vodivosti (<i>Thermal conductivity coefficient</i>)	31
7.1.2	Měrná tepelná kapacita (<i>specific heat capacity</i>).....	32
7.1.3	Součinitel teplotní vodivosti (<i>temperature diffusivity factor</i>).....	33
7.1.4	Množství tepla.....	33
7.2	Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí	34
7.2.1	Tepelný odpor konstrukce (<i>thermal resistance</i>)	34
7.2.2	Součinitel prostupu tepla (<i>transmission heat loss coefficient</i>).....	34
7.2.3	Lineární činitel prostupu tepla (<i>linear thermal transmittance</i>)	36
7.2.4	Vnitřní povrchová teplota (<i>surface temperature</i>)	36
7.2.5	Teplotní útlum konstrukce (<i>thermal heat damping</i>)	37
7.2.6	Fázový posun	37
7.2.7	Faktor difuzního odporu (<i>water vapour diffusion resistance factor</i>)	38
8	Tepelná akumulace a tepelná stabilita konstrukcí	39
8.1	Lehké konstrukce a těžké konstrukce	39
8.2	Tepelná stabilita místnosti v letním období	39
8.3	Potenciál vnitřních vrstev konstrukce akumulovat teplo	40
9	Experimentální část	42
9.1	Systémové zpracování práce	42
9.2	Použitá výpočtová metodika	43
9.2.1	Počítačové simulace.....	43
9.2.2	Popis použitého programu	44
9.2.3	Princip nestacionárního výpočtu programem	44
9.3	Sledované údaje	45
9.4	Vybraný objekt.....	46

9.4.1	Skladby konstrukcí - keramický zdící systém (1).....	48
9.4.2	Skladby konstrukcí - vápenopískový zdící systém (2)	49
9.4.3	Skladby konstrukcí - systém ztraceného bednění z izolace (3)	50
9.4.4	Skladby konstrukcí - systém z autoklávovaného pórobetonu (4)	51
9.4.5	Skladby konstrukcí – dřevostavba (5)	52
9.5	Grafické výstupy ze simulace programem Stabilita.....	53
9.6	Hodnocení domu z hlediska obálky budovy	63
10	Shrnutí výsledků	66
10.1	Hodnocení podle platné tepelně - technické legislativy	67
10.2	Hodnocení pomocí nestacionární numerické simulace	68
11	Závěr	69
12	Seznam použitých zdrojů	71
13	Seznam tabulek	73
14	Seznam obrázků	74
15	Seznam grafů.....	75
16	Seznam symbolů.....	76
17	Seznam použitých zkratek	77
18	Seznam příloh.....	78

1 ÚVOD

1.1 Energie a stavebnictví

Od doby, kdy se lidem podařilo zkrotit oheň a využívat ho ve svých příbytcích jako zdroj tepla, se zabývají i otázkou, jak si teplo udržet co nejdéle a jak tedy snižovat tepelné úniky a ztráty tepla.

Významnou roli hrál výběr stavebního materiálu pro obydlí, samozřejmě v rámci možností, které nabízela daná doba a možnosti majitele.

Výroba stavebních hmot a materiálů, realizace budov a jejich provoz představují velké nároky na energii. Spotřebovaná energie se stává velmi významným kritériem při návrhu, posuzování realizace, rozhodování o pořízení a provozu budov.

Oblast stavebnictví včetně dodávky energií na provoz budov tvoří ve většině civilizovaných zemí většinový podíl na celkové spotřebě energií. Zároveň je ve většině těchto zemí v posledních letech kladen čím dál větší důraz na snižování spotřeby energií ve všech oblastech lidské činnosti. Je tedy logické a správné, že značné úsilí je vynakládáno na úspory v oblasti stavebnictví.

Celosvětově se v budovách spotřebuje zhruba 40 % veškeré energie a tomu odpovídající množství emisí CO₂ [6, 7]. Z podílu energie spotřebované na provoz budov tvoří největší část podíl na vytápění – 70 až 80 % [5, 9]. Z uvedených čísel je zřejmé, že při snaze o úsporu energie je potřeba zaměřit pozornost především na úsporu energie spotřebované na vytápění budov, čehož je možné dosáhnout především zlepšením tepelně technických vlastností budov, ale i vhodným konstrukčním a dispozičním řešením, významnou úlohu zde tvoří též orientace a umístění budovy na pozemku a využití tzv. pasivních solárních zisků. Výsledné energetické vlastnosti budovy tedy ovlivní v odlišné míře celá řada faktorů.

1.2 Společenské souvislosti a investice do budoucnosti

Provoz budov je největší položkou v koláči spotřeby energie každé národní ekonomiky. Současně s tím je na místě si uvědomit, že v provozu budov, na rozdíl od dalších dílků téhož koláče, je potenciál úspor obrovský a dlouhodobý.

Typickým problémem výstavby většiny budov je jejich velmi dlouhá životnost ve srovnání s výrobky jiných odvětví průmyslu. Z toho vyplývá, že jakákoliv systémová „změna kurzu“ ve výstavbě budov se projeví až za velmi dlouhou dobu. Lze například odhadnout, že nově stavěné budovy nebudou ani za dvacet let tvořit více než 15 % fondu budov [7]. Problém tepelné bilance budov není možné tedy komplexně řešit bez efektivního řešení snížení spotřeby energie v budovách postavených v uplynulých letech. Tyto budovy představují rozhodující podíl v počtu bytových a občanských budov.

Např. OECD považuje v tomto smyslu za klíčové tři oblasti – energetickou náročnost provozování budov (především s ohledem na produkci CO₂), kvalitu vnitřního prostředí v budovách a zacházení se stavebním a demoličním odpadem [7].

V zemích Evropské unie všechny obecně závazné předpisy týkající se hospodaření s energiemi vycházejí z myšlenky trvale udržitelného rozvoje.

Podstatou tohoto přístupu ve stavebnictví je rozšíření hodnocení vlivu každé stavby na životní prostředí v celém jejím životním cyklu. V porovnání s jinými odvětvími stavebnictví produkuje a vypouští do oběhu největší objem produktů - stavebních materiálů. Je důležité hodnotit každý do stavby užitý komponent z hlediska množství primární energie spojené s jeho vznikem, výrobou, dopravou, životností ve stavbě a případnou likvidací s možností recyklace.



Obr. 1: Znárodnění životního cyklu stavby [22]

2 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY BUDOV S NÍZKOU SPOTŘEBOU ENERGIE

Provozní náklady domu začínají pro investory hrát stále větší roli při jejich rozhodování o podobě jejich nového domu. Stejně jako je dnes zcela běžné sledovat spotřebu svého automobilu nebo se tímto parametrem řídit při výběru nového, u staveb tomu ještě tak do nedávna nebylo.

Nejvyšší náklady jsou na udržení požadované úrovně vnitřní teploty, tedy na vytápění, nebo naopak na chlazení v létě. Proto jsou domy s nízkou potřebou energie koncipovány tak, aby této dodané energie potřebovaly co nejméně. Mají snížené tepelné ztráty prostupy konstrukcí a větráním. Energie na vytápění zdarma pak získávají z tzv. pasivních solárních zisků.



Obr. 2: Schéma energetických toků ve standardním a pasivním domě [10]

Konvenční dům je definován jako stavba, která se v segmentu rodinných domů staví v současnosti nejvíce. Její roční potřeba energií je cca 50 – 100 kW/m²/rok, dům nemá řízené větrání a kompaktní tvar. Jeho solární tepelné zisky jsou tedy malé, zatímco ztráty prostupem konstrukcí nebo infiltrací jsou relativně velké. Tuto ztrátu je tedy třeba kompenzovat z vnějších zdrojů. Jediné, co ho spojuje s domem pasivním, je úroveň vnitřních zisků, protože se předpokládá stejné vybavení běžnými domácími spotřebiči, četností jejich využití a v neposlední řadě i stejný počet uživatelů domu. V domech s nízkou potřebou energie totiž hraje roli každý watt tepelných zisků, a proto do výpočtu vstupuje i přítomnost lidí jako zdroje tepla.

Pasivní dům respektuje svoje okolí (překážky, stínění), je orientován vhodně vůči světovým stranám, aby byly jeho solární tepelné zisky co možná největší. Je dokonale izolován. Tepelná obálka musí být kompaktní kolem celé budovy, a to i včetně střechy a podlahy. Důležité je, aby napojení všech konstrukcí bylo projektově dobře vyřešeno a pečlivě provedeno. Dům s nízkou potřebou energie je také vybaven řízeným větráním s rekuperací (zpětným získáváním tepelné energie z odpadního vzduchu) [10].

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

3.1 Současná situace v Evropě a v ČR

V souvislosti s koncepcí nízkoenergetických a pasivních domů vznikla postupně v řadě evropských zemí zájmová sdružení s cílem poskytovat informace, vzdělávat a zprostředkovávat spolupráci mezi odborníky a firmami podílejícími se na návrhu a stavbě domů s nízkou spotřebou energie.

Nejvýznamnějším evropským střediskem podporujícím rozvoj a výstavbu pasivních domů je v roce 1996 založený německý Passivhausinstitut v Darmstadtu vedený Dr. Wolfgangem Feistem. Jedná se o nezávislou a nevládní instituci [11].

Rakousko a Německo si v oblasti úsporného stavění uchovává vedoucí roli. Díky dlouholeté práci IG Passivhaus Österreich je nyní Rakousko světovou špičkou co do hustoty pasivních domů na obyvatele. Tento trend se neustále zrychluje. Literatura uvádí, že více než třetina veškerých novostaveb v Rakousku je právě v pasivním standardu.

Ve spolkové zemi Horní Rakousko se od 1. ledna 2007 nesmí stavět jiné budov než v nízkoenergetickém standardu. Ve Vorarlbersku musí být všechny nové byty realizované z veřejného rozpočtu pasivní, stejně jako všechny veřejné budovy v Dolním Rakousku. Také ve Frankfurtu si uvědomují naléhavost snižování spotřeby energie, a proto veškeré novostavby i rekonstrukce musí být stavěny pouze v pasivním standardu.

Ve Frankfurtu toto nařízení platí dokonce i pro pozemky, které město prodává za účelem nové výstavby.

V současnosti byla realizována nová sídliště v pasivním standardu například ve Vídni, v Innsbrucku a Salzburgu. V současné době překračuje poptávka po bydlení v pasivních domech jen ve zmíněném Rakousku třikrát nabídku. V Německu se počet pasivních domů každý rok zdvojnásobí [6, 7].

V ČR se realizovalo 17442 bytů v rodinných domech za rok 2012, pasivních se staví 400 – 500 ročně [10].

3.2 Podpora a ekonomika nízkoenergetického stavění

Evropské státy více či méně pomáhají stavebníkům energeticky úsporných budov dotačními programy.

V současnosti jsou v Německu postaveny desetitisíce pasivních domů, od rodinných domů, přes školy, školky až po administrativní budovy a tělocvičny. Velmi tomu pomohly dotace ve formě příspěvku k úrokům z hypotečního úvěru, ale i zodpovědnost a cílevědomost veřejné správy [6].

Například v Rakousku dotují úrokové sazby hypoték na domy odstupňovaně dle různých energetických parametrů objektu.

Další zemí, která za poslední roky dosáhla významných úspěchů v nízkoenergetickém stavitelství, je Belgie. I zde existuje celá řada pasivních domů, liší se však způsobem podpory jejich výstavby. Podpora pro individuální stavebníky spočívá v daňových úlevách na státní úrovni a dalších menších dotacích na regionální úrovni. [6]

V České republice lze aktuálně získat z programu *Nová zelená úsporám* několika set tisícovou dotaci na výstavbu rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností [12].

I tam, kde není možné žádnou podporu z veřejných prostředků získat, má smysl o nízkoenergetickém domě uvažovat, protože přináší vyšší komfort a kvalitu za odpovídajících nákladů. Nízká energetická náročnost je jednou z charakteristik kvality řešení domu. Případná jednorázová investice do vlastního energeticky nenáročného domu s dlouhou životností je nejlepším důchodovým pojištěním pro jeho majitele.

Nízkoenergetické domy jsou zajímavé i v oblasti sociální výstavby, kdy je dlouhodobým vlastníkem stát nebo obec. Řada takovýchto projektů již v zahraničí úspěšně funguje. U komerčních stavebních akcí je třeba také zmínit lepší pronajimatelnost. Projekty nového bydlení v nízkoenergetickém či pasivním standardu jsou dnes uváženy investory vyhledávány stále častěji. Průzkum provedený ve Švýcarsku ukázal, že nízkoenergetické domy s investičními vícenáklady 5-7 % byly prodávány o 9 % dříve než srovnatelné domy ve standardu obvyklém [7].

4 LEGISLATIVA

4.1 Evropská legislativa o energetické náročnosti budov

Základním evropským předpisem pro snižování spotřeby energií se stala *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES, o energetické náročnosti budov (EPBD I)*, která byla v roce 2010 nahrazena novým zněním *Směrnice 2010/31/EU (EPBD II)*. Tato nová směrnice je v současné době platná a obsahuje požadavky včetně termínů pro její začlenění do národních legislativ členských států Evropské unie.

Směrnice *EPBD II* přináší celou řadu změn – především stanovuje požadavek, že všechny nové budovy mají být v budoucnu stavěny jako energeticky nulové nebo takové úrovni blízké.

Předchozí usnesení Evropského parlamentu [13] z roku 2008 žádající, aby všechny nové budovy byly od roku 2011 stavěny jako pasivní, je novou směrnicí *EPBD II* překonáno.

Směrnice *EPBD II* obsahuje čtyři hlavní požadavky, které musí být převedeny do národních legislativ [14]:

- od 31. 12. 2020 budou všechny nové budovy stavěny jako energeticky nulové nebo blíží se nule; pro budovy v majetku státu toto bude platit již o dva roky dříve,
- do roku 2020 sníží členské státy Evropské unie společně produkci skleníkových plynů alespoň o 20 %,
- do roku 2020 zvýší členské státy Evropské unie společně energetickou účinnost o 20%,
- do roku 2020 zvýší členské státy Evropské unie společně podíl energie z obnovitelných zdrojů na 20 % celkové spotřeby.

4.2 Česká legislativa o energetické náročnosti budov

V České republice se směrnice *EPBD* stala podkladem pro vytvoření zákona o hospodaření s energiemi č. 406/2000 Sb. K 1. 1. 2013 byla vydána změna zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií - zákon č. 318/2012 Sb. (poslední novela v roce 2017) [15].

Zákon o hospodaření s energiemi má významný dopad na koncepční řešení budov nejen z hlediska tepelně – technického. Zákon a navazující vyhlášky specifikují kritéria hodnocení energetické náročnosti budov, které je nutné splnit například pro získání stavebního povolení u novostaveb. Nový způsob hodnocení energetické náročnosti zavádí nově posouzení primární neobnovitelné energie, pojem budova s téměř nulovou spotřebou energie a další kritéria, která směřují ke snížení emise skleníkových plynů, spotřeby energie v budovách a zvýšení podílu obnovitelných zdrojů ve smyslu *Směrnice 2010/31/EU (EPBD II)* [14, 16].

4.2.1 Prováděcí vyhlášky k zákonu č. 318/2012 Sb.

K zákonu se vydává soubor prováděcích vyhlášek, které rozpracovávají jednotlivé oblasti zákona a upřesňují způsob jejich provádění. Jedná se o následující vyhlášky:

- Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov (nahradila vyhlášku č. 148/2007 Sb.),
- Vyhláška č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a posudku (nahradila vyhlášku č. 213/2001 Sb.),
- Nová vyhláška o energetických specialistech a osobě oprávněné provádět instalaci zařízení vyrábějící energii z OZE (nahradí zkušební řád, části vyhlášky č. 148/2007, 213/2001, atd.),
- Vyhláška č. 441/2012 Sb. o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie (nahradila vyhlášku č. 349/2010 Sb.).

4.2.2 Energetické dokumenty

Pro energetické dokumenty naše právní předpisy upravují určité názvy, náležitosti dokumentu i oprávnění k jeho zpracování. V současné době existují tyto dokumenty:

- Průkaz energetické náročnosti budovy a protokol k němu
- Energetický audit
- Energetický štítek a protokol k němu

4.2.3 Další související zákony

Obecné požadavky na tepelnou ochranu budov jsou závazně zakotveny ve dvou základních předpisech:

- v zákoně č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (Stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů a v jeho prováděcích vyhláškách,
- v zákoně č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů, respektive jeho novele uvedené v úplném znění v zákoně č. 406/2006 Sb., a jeho prováděcí vyhlášce O energetické náročnosti budov [15].

4.2.4 České technické normy

Konkrétním normativním dokumentem stanovujícím požadavky v této oblasti a uvádějící normové hodnoty je česká technická norma ČSN 73 0540:

- ČSN 73 0540-1: Terminologie, z roku 2005 [1],
- ČSN 73 0540-2: Požadavky, z roku 2011 [2],
- ČSN 73 0540-3: Návrhové hodnoty veličin, z roku 2005 [3],
- ČSN 73 0540-4: Výpočtové metody, z roku 2005 [4].

Nové znění základní technické normy pro tepelnou ochranu budov ČSN 73 0540-2 z roku 2011 [2] oproti předchozímu znění přehledněji formuluje požadavky na teplotu vnitřních povrchů konstrukcí s využitím teplotního faktoru vnitřního povrchu. Částečně se změnilы hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí. Je upraveno hodnocení prostupu tepla obálkou budovy pomocí průměrného součinitele prostupu tepla s využitím referenční budovy. Upravena je kapitola popisující požadavky na neprůvzdušnost konstrukcí a požadavky na větrání místností. Informativní příloha A je upravena a rozšířena o podrobněji popsané definice nízkoenergetických, pasivních a energeticky nulových budov. Informativní příloha B obsahuje příklady hodnocení budovy pomocí průměrného součinitele prostupu tepla. Změněna je informativní příloha C s energetickým štítkem obálky budovy [9].

Povinnost dodržet požadavky na budovy a jejich konstrukce z hlediska nízké spotřeby energie a tepelné ochrany se vztahuje kromě nových budov i na stavební úpravy, udržovací práce, změny v užívání budov a jiné změny dokončených budov.

Pro novostavby platí rozsah požadavků v ČSN 73 0540-2:2011 bez výjimek [2].

Některé vybrané technické údaje potřebné pro provádění vyhlášek jsou zpracovány formou Technické normalizační informace, vydávané Ústavem pro normalizaci a měření (UNMZ).

Dokumenty technické normalizační informace:

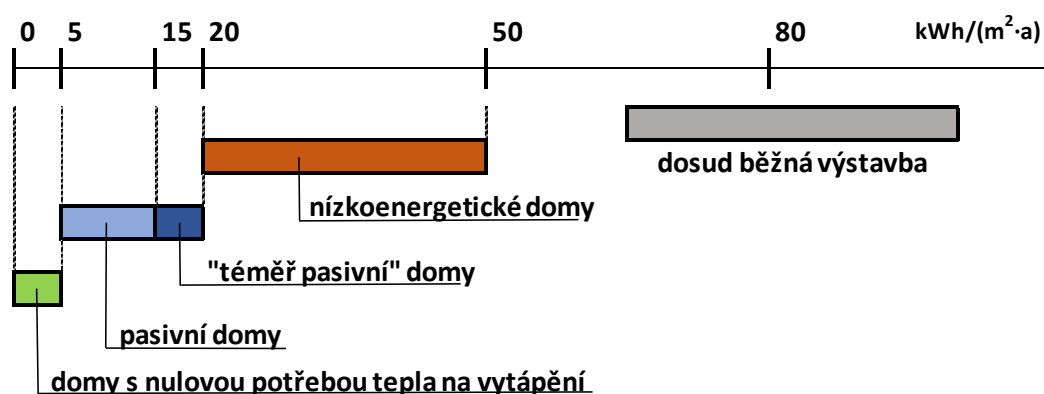
- TNI 73 0329 – zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou spotřebou tepla na vytápění – rodinné domy,
- TNI 23 0330 – zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou spotřebou tepla na vytápění – bytové domy.



Obr. 3: Grafické znázornění tříd energetické náročnosti budov [21]

5 KATEGORIE BUDOV S NÍZKOU ENERGETICKOU NÁROČNOSTÍ

Mezinárodním standardem pro *nízkoenergetické domy* je mimo jiné roční plošná měrná potřeba tepla na vytápění nepřesahující $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Vyšším standardem jsou potom *pasivní domy*, kde je potřeba tepla na vytápění snížena pod hranici $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Postupně má být dosaženo stavu, kdy budou všechny novostavby realizovány jako budovy s nulovou energetickou náročností (*nulové domy*) nebo takové úrovni blízké. Nulové budovy mají potřebu tepla $0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.



Obr. 4: Schéma roční měrné potřeby tepla na vytápění podle kategorie budov [8]

Nízkoenergetický dům by dnes měl být u novostaveb standardem. Jde o dům, který kvalitně řeší tepelně izolační obálku domu a je také koncipován jako vysoce vzduchotěsný.

Splnění současných platných požadavků tepelně technické normy ČSN 73 0540 „Tepelná ochrana budov“ vede k potřebě tepla na vytápění nepřesahující $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Je otázkou kolik novostaveb rodinných domů požadavky normy skutečně naplní. Starší domy potom běžně dosahují hodnot v rozmezí $150 - 250 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Tab. 1: Porovnání potřeb energie na vytápění u jednotlivých typů staveb [6]

Typ stavby	Potřeba energie na vytápění
Starší výstavba	$225 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
Novostavba dle ČSN 73 0540	$100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
Energeticky úsporné domy	$72 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
Nízkoenergetické domy	$50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
Pasivní domy	$15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

Kategorizaci domů dle energetické náročnosti uvádí tepelně technická norma [2]:

5.1 Nízkoenergetické budovy

Nízkoenergetické budovy jsou charakterizovány nízkou potřebou tepla na vytápění. Té je dosahováno zejména optimalizovaným stavebním řešením obálky budovy. Za nízkoenergetickou budovu se obvykle považuje budova, jejíž průměrný součinitel prostupu tepla nepřekračuje doporučenou hodnotu a současně měrná potřeba tepla na vytápění stanovená v souladu s normou nepřekračuje $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

5.2 Pasivní budovy

Pasivní budovy jsou charakterizovány minimalizovanou potřebou energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a minimalizovanou potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů na jejich provoz díky optimalizovanému stavebnímu řešení a dalším opatřením.

Jako pasivní domy jsou v normě [2] označovány budovy s roční plošnou měrnou potřebou tepla na vytápění nepřesahující $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Tento parametr není jediným požadavkem. Povinně hodnocenou vlastností je celková průvzdušnost obálky budovy – celková intenzita výměny vzduchu n_{50} při tlakovém rozdílu 50 Pa nesmí překročit hodnotu $n_{h50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$. Současně nesmí u těchto budov celkové množství primární energie spojené s provozem budovy (vytápění, ohřev teplé vody a elektrická energie pro spotřebiče) překračovat hodnotu $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ pro rodinné a bytové domy.

Tab. 2: Základní vlastnosti pasivních budov [2]

		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² ·K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² ·a)]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/(m ² ·a)]	Měrná potřeba primární energie [kWh/(m ² ·a)]
Obytná budova	Rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 20 požadováno ≤ 15 doporučeno	0	≤ 60
	Bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 15	0	≤ 60
Neobytná budova s převážující teplo- tou 18 °C - 22 °C		≤ 0,35	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy		Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120

5.3 Energeticky nulové budovy

Domy nulové nebo plusové jsou rozšířením pasivního domu o instalace technologií využívajících obnovitelné zdroje v takové míře, že je jejich roční energetická bilance (spotřeba vs. výroba) vyrovnaná nebo v přebytku.

Hodnocení vychází z roční bilance energetických potřeb a energetické produkce v budově a jejím okolí, vyjádřené v hodnotách primární energie. Předpokládá se, že budova je připojena na obvyklé energetické sítě. Je výhodné, aby stavební řešení a technická zařízení budovy byla navržena tak, aby odpovídala pasivnímu standardu.

Jsou stanoveny dvě základní úrovně hodnocení. Pro obě úrovně je v tabulce 3 uvedeno, co se považuje za dosažení úrovně energeticky nulové budovy a co za dosažení úrovně blízké energeticky nulové budově. S ohledem na vývoj technologií je možné v blízké době očekávat upřesnění zde uvedených způsobů hodnocení a konkrétních hodnot.

Tab. 3: Základní požadavky na energeticky nulové budovy [2]

Závaznost kritéria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² ·K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění E_A [kWh/(m ² ·a)]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů PE_A [kWh/(m ² ·a)]	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy	Nulový	$RD \leq 0,25$	$RD \leq 20$	0	0
	Blízký nulovému	$BD \leq 0,35$	$BD \leq 15$	80	30
Neobyt. budovy	Nulový	$\leq 0,35$	≤ 30	0	0
	Blízký nulovému			120	90

Pozn. RD = Rodinné domy, BD = Bytové domy

5.4 Energeticky nezávislé budovy

Jako energeticky nezávislé budovy se označují budovy bez potřeby dodávek energie ze zdrojů mimo budovu. Zpravidla se jedná o budovy mimo zastavěné území, kde by napojení na energetické sítě nebylo možné realizovat, a jiná dodávka energie by byla obtížná. V takovém případě je vhodné, aby budova byla řešena jako pasivní. Vyrovnání mezi energetickou produkcí a spotřebou energie slouží akumulace energie do tepelných zásobníků, elektrických akumulátorů a využití akumulace energie v podzákladí.

6 STAVEBNĚ ENERGETICKÁ KONCEPCE BUDOVY

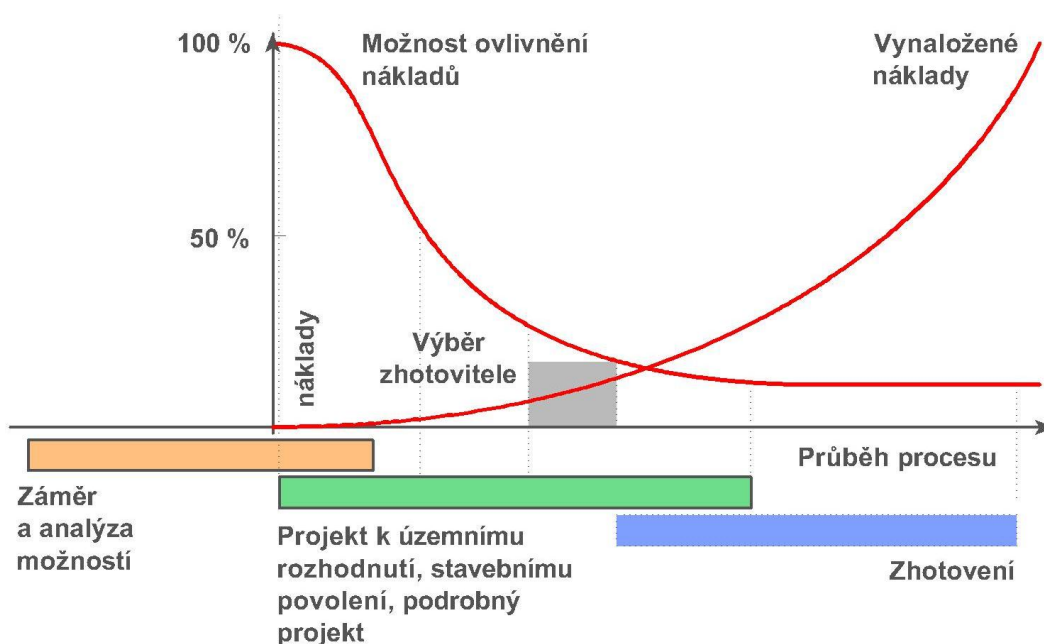
Výsledné vlastnosti budovy lze zpravidla nejlépe ovlivnit při vytváření celkové koncepce v prvotní fázi projektu, zejména dobrou promyšlenou provázaností s koncepcí nosné funkce, vytápění, větrání a orientací budovy. Základem návrhu budovy s nízkou energetickou náročností je vyváženost všech složek ovlivňujících energetickou bilanci budovy. Dosaženou nízkou potřebu tepla na vytápění, pomocí vhodného koncepčního stavebního řešení, je možné s výhodou kombinovat instalací soustav využívající v různé míře obnovitelné zdroje energie.

V souvislosti s nízkou energetickou náročností nelze hovořit jen o vlastnostech obvodových konstrukcí a do nekonečna zvyšovat tloušťky tepelných izolací. Výsledné energetické vlastnosti budovy ovlivní v odlišné míře celá řada faktorů a jejich správná aplikace může vést k výrazným úsporám energie.

Ve výčtu ovlivňujících faktorů jde především o [2, 7]:

- Volbu pozemku a osazení budovy na něm,
- Orientaci budovy ke světovým stranám,
- Velikost budovy – přiměřenost danému účelu,
- Tvarové řešení (celková kompaktnost tvaru i členitosti vnějších povrchů),
- Vnitřní uspořádání s ohledem na soulad vytápěcích režimů a orientaci prostorů ke světovým stranám,
- Vlastnosti obvodových konstrukcí,
- Barevné řešení jednotlivých povrchů konstrukcí,
- Velikost prosklených ploch na jednotlivých fasádách,
- Řešení potřebné výměny vzduchu,
- Vnitřní tepelné zisky podle charakteru provozu v budově,
- Otopnou soustavu – vhodná volba, přiměřená velikost, kvalitní regulace atd.,
- Způsob, jakým je zajištěna pohoda prostředí v teplé části roku,
- Efektivnost ohřevu teplé vody a energetickou účinnost elektrických spotřebičů,
- Skutečně dosažené energetické vlastnosti budovy po realizaci,
- Skutečný způsob užívání budovy.

Všimněme si dále některých uvedených faktorů podrobněji. Významné jsou však více či méně všechny faktory, ale ne vždy všechny z nich můžeme náležitě ovlivnit. I tak bychom se jimi měli zabývat.



Obr. 5: Schéma efektu a možnosti ovlivnění nákladů v průběhu procesu výstavby [6]

6.1 Pozemek, umístění budovy a pasivní zisky

Úvahy o stavbě nízkoenergetického domu by měly začínat snahou o zajištění vhodného pozemku. Volba pozemku je zásadním rozhodnutím pro optimální návrh takového domu. Možnost příjmu solárních zisků či jejich absence zásadním způsobem ovlivní energetickou bilanci a chování domu.

Ideální osazení novostavby je na severním okraji parcely tak, aby jižní, popřípadě západní fasáda byla osluněna a v maximální míře byly využity solární zisky od slunečního svitu. Z tohoto důvodu se navrhuje na jižní a západní stranu rozsáhlá prosklení s optimalizovaným poměrem pasivních solárních zisků a tepelných ztrát prostupem do vnějšího prostředí.

Na energetické jednotky je možné převést i prognózu budoucího užívání osobních aut pro provoz rodiny. Tam kde chybí místní služby, škola atd. a místo není rozumně dosažitelné veřejnou dopravou, může spotřeba energie i emise CO₂ spojené s provozem dvou aut v rodině být výrazně vyšší než z provozu domu [7].

6.2 Přiměřenost a kompaktnost objemu

U nízkoenergetických a pasivních domů platí zásada, že hledáme takové hmotové a dispoziční řešení, abychom co největší vnitřní objem vměstnali do co nejmenšího povrchu obvodového pláště, jímž se mohou realizovat tepelné ztráty. Hovoříme o parametru A / V (m^2/m^3) [6].

Nejpříznivější proporce vychází u kulového tvaru, který se jen obtížně realizuje, krychle je dispozičně také nepraktická. Proto se většina projektantů přiklání k dvoupodlažnímu ležatému kvádru delší stranou orientovaného ve směru východ/západ, aby byla maximální plocha orientována na osluněné strany.

Dle Passivhausinstitut v Darmstadtu [11] poskytuje rodinný dům nejhorší předpoklady pro stavbu pasivního domu. Významně lepší předpoklady mají bytové domy, administrativní budovy či školy s výrazně lepším poměrem A / V . Výhodnější formou jsou také řadové rodinné domy, kde společné dělicí stěny účelně minimalizují plochu ochlazovaného pláště domu.



36,4 kWh/($\text{m}^2 \cdot \text{a}$)



22,4 kWh/($\text{m}^2 \cdot \text{a}$)

Obr. 6: Dva objekty ze studie ČVUT – ilustrační foto:

Rodinný dům střední velikosti a čtyřpodlažní bytový dům – mají shodné obvodové konstrukce a shodný systém vytápění. Měrná spotřeba tepla vztahovaná na podlahovou plochu je u bytového domu o jednu třetinu nižší. [7]

6.3 Solární energie a budova

Velice významným prvkem stavebně energetické koncepce objektu je práce se solární energií, tedy zdrojem energie, který poskytuje příroda, a to zcela zdarma.

V porovnání s ostatními zdroji energie má solární energie tyto přednosti:

- je všeobecně k dispozici,
- prakticky je nevyčerpatelná,
- neznečišťuje životní prostředí.

Při využití sluneční energie v budovách můžeme aplikované systémy rozdělit takto:

- **Systémy aktivní**, při kterých se přeměna sluneční energie děje pomocí slunečního kolektoru (FT– systémy) a tepelného zásobníku nebo fotovoltaického systému (FV-systémy) bez závislosti na tvaru budovy a jejích fyzikálních vlastnostech. Kolektory jsou v takovýchto případech řešeny jako samostatná technická zařízení.
- **Systémy pasivní**, při kterých jde o přímé využití sluneční energie na tepelné zisky budovy prostřednictvím vhodné orientace a tvaru objektu a inteligentního využití fyzikálních vlastností stavebních konstrukcí.

Podstatou koncepce nízkoenergetických domů jsou zejména jeho pasivní solární zisky. Ty vznikají, prochází-li sluneční paprsky do interiéru, kde ohřívají nejen vzduch, ale zejména povrchy, od kterých se pak sekundárně vyhřívá vnitřní vzduch.

Spotřeba energie na vytápění se může přitom podstatně snížit (až o 50%) a to výhradně jen stavebně-architektonickými prostředky [5]. Základními faktory, které využívá pasivní solární systém, jsou zasklená plocha fasády působící ve funkci slunečního kolektoru a látky stavebních konstrukcí s velkou tepelnou kapacitou, sloužící jako akumulátor zachycené tepelné energie.

Energetický účinek okna z hlediska tepelné bilance budovy závisí na intenzitě slunečního záření dopadajícího na plochu okna, přičemž je třeba uvažovat nejen přímé sluneční záření, ale i difuzní a odraženou složku slunečního záření.

Nejvýhodnější orientace oken (zasklených ploch) je jižní, která má v zimním období nejpriznivější záření, naopak v letním období můžeme sluneční záření poměrně jedno-

duše zaclonit. Energetická bilance oken v zimním období se může upravit například různými systémy rolet v noci, kdy dochází k tepelným ztrátám okny. Okno v takové úpravě může působit jako určitý dynamický prvek z hlediska tepelné bilance budovy [5]. Pro jižní stranu domu je pak optimální asi 40% prosklení z celkové plochy jižní fasády. Tato plocha by měla zajistit dostatečné tepelné zisky. Větší plocha už by naopak způsobovala přehřívání domu [10].

Konstrukce s velkou tepelnou kapacitou mají za úkol vyrovnávat – stabilizovat tepelné kolísání v interiéru a působit jako tepelný zásobník energie získané ze slunce. Proto musí být takovéto konstrukce s velkou tepelnou kapacitou tepelně izolované od vnějšího prostředí. V letním období v součinnosti s režimem větrání mohou účinně ovlivňovat intenzitu letního přehřívání místností.

Okna pasivního solárního systému orientovaná na jih mají velké plochy, okna orientovaná na ostatní světové strany jsou dimenzována úsporněji. Stěny a podlahy jsou masivní – mají velkou plošnou hmotnost. Pokud mají vnější konstrukce vysoký stupeň tepelné izolace, pasivní solární systémy mají vysoký stupeň energetické efektivity i v klimaticky méně výhodných oblastech.

V porovnání s aktivními solárními systémy jsou pasivní solární systémy investičně podstatně levnější a přitom jejich účinnost je přibližně shodná.

6.4 Okna a zasklení

Jako nejvýznamnější činitel, který se projevuje z hlediska rychlosti tepelné výměny mezi interiérem a venkovním prostředím, je plocha zasklení posuzované místnosti. Z hlediska velikosti tepelného odporu tvoří zasklení „nejslabší“ článek při posuzování tepelné ochrany budov. Bohužel i přes dobré tepelné izolační vlastnosti oken, jejichž zasklení v současnosti standardně dosahuje v případě izolačního trojskla hodnoty $U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ je tato hodnota U_g mnohdy několikanásobně vyšší než odpovídající požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla U_N pro obvodové konstrukce.

Oknům jako místům významných tepelných ztrát i možných značných tepelných zisků, dalšímu klíčovému prvku koncepce nízkoenergetického domu, musí být věnována velká pozornost.

Velikost oken, rozmístění, fyzikální vlastnosti i návaznosti na okolí konstrukce mají zcela zásadní význam pro celý dům, pro jeho estetické, funkční a energetické vlastnosti.

Významně se projevuje na zvýšení teploty v interiéru plocha a orientace zasklené plochy okna vzhledem k světovým stranám. Na dominantním teplotním vzestupu v interiéru se zejména podílí západní orientace obvodového zasklení, která se projeví pouze v odpoledních hodinách. Méně výrazná bývá jižní orientace oken, která ovšem působí v delším časovém intervalu.

Zatímco situaci s přehříváním v místnostech orientovaných zejména jižním a západním směrem lze poměrně účinně řešit vhodným vnějším zastíněním zasklených ploch, ukázalo se také jako poměrně účinné větrání ve vhodném časově nastaveném nočním režimu. Jak se z výpočtových teplotních průběhů v nočním čase ukázalo, větrání v nočních hodinách v letním období významně redukuje teplotu v interiéru v noční době.



Obr. 7: Aktivní stínící prvky s integrovanými fotovoltaickými články [22]

6.5 Správné užívání domu – chování uživatele

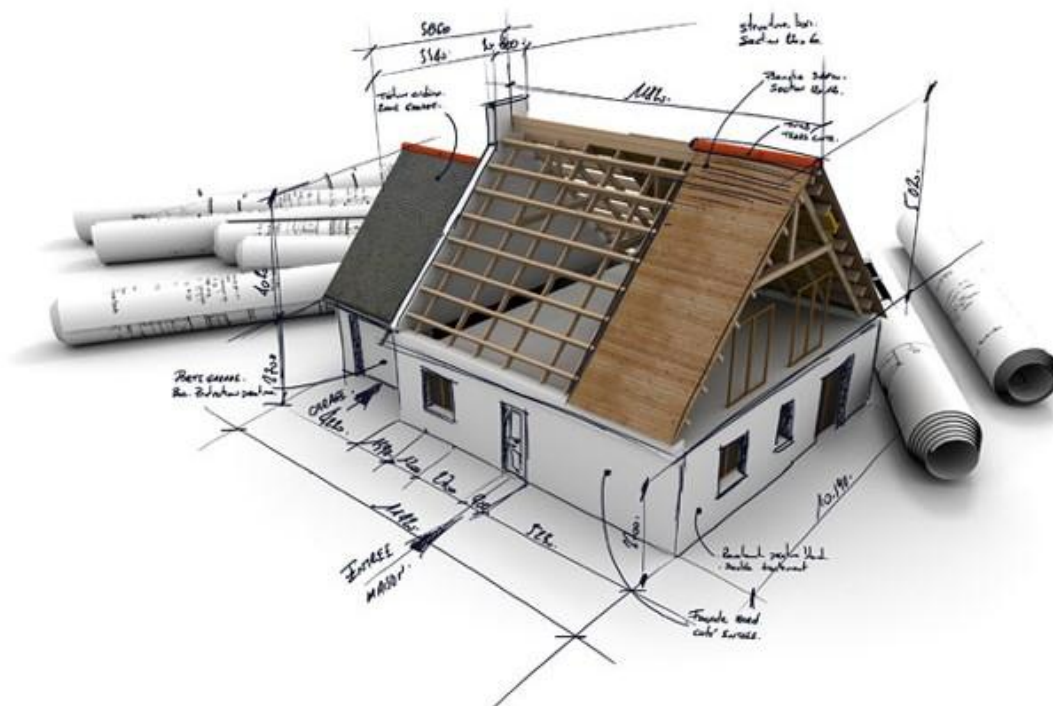
Nedílnou a neméně důležitou součástí správně fungujícího nízkoenergetického domu je jeho proškolený uživatel.

Podstatným prvkem života takového domu je, jak uživatelé využívají instalované technologie. Toto je oblast, ve které se nachází velký prostor pro optimalizace, protože chování lidí, jak se ukazuje, hraje při spotřebě energií daleko větší roli než návrh domu jako takového. Významné jsou odchylky od výpočtového stavu založeného na normových hodnotách a skutečně měřených hodnotách.

Podle studie byla průměrná měřená vnitřní teplota 22,1 °C, což je výrazně více než návrhová hodnota pro obytné místnosti 20 °C. Faktem je, že zvýšení vnitřní teploty o 1 °C v takto navrženém domě znamená nárůst spotřeby energie až o 10 %. Navíc byl topný systém využíván mnohem déle i mimo topnou sezónu, tedy více dní v roce, než bylo návrhem předpokládáno [10].

Z výše uvedeného vyplývá důležitost znalostí uživatelů těchto typů domů o elementárních funkcích jednotlivých technologií. Pokud je nízkoenergetický dům provozován bez znalostí svých funkcí, je pravděpodobné, že nebude optimálně využíván a jeho hlavní přednost, tedy hospodárnost provozu, nebude využita.

Následující kapitola se zabývá důležitými vlastnostmi stavebních materiálů a celých konstrukcí zejména z tepelně technického hlediska.



Kapitola o tepelně technických vlastnostech je zpracována z tepelně technické normy [1, 2, 3] a dále z odborných prací a publikací [17, 18] :

7.1 Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů

7.1.1 Součinitel tepelné vodivosti (*Thermal conductivity coefficient*)

$$\lambda \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]}$$

Součinitel tepelné vodivosti λ je zásadním parametrem stavebních materiálů z hlediska tepelné techniky. Udává schopnost stejnorodého materiálu vést teplo. Izolační schopnosti obvodových konstrukcí tedy přímo závisí na této hodnotě. Čím je hodnota λ nižší, tím lépe materiál tepelně izoluje.

Číselně je roven teplu, které projde materiálem za jednotku času, jednotkou plochy při jednotkovém teplotním gradientu a je dán vztahem:

$$\lambda = \frac{\bar{q}}{-\text{grad } \theta},$$

\bar{q} je vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením, proudícího stejnorodým izotropním materiálem [W/m²],

$\text{grad } \theta$ je gradient teploty [K/m].

Látky dělíme dle součinitele tepelné vodivosti na dobré vodiče a izolanty. Jeho hodnoty se mohou lišit i o několik řádů. Nejlepšími vodiči jsou kovy, naopak nejlepšími izolanty jsou plyny. Proto jsou dobrými izolačními materiály látky, které obsahují velké množství uzavřených dutinek vyplněných vzduchem nebo jinými plyny. Hodnota součinitele tepelné vodivosti závisí na vlhkosti a teplotě materiálu.

Tab. 4: Přehled návrhových hodnot součinitele tepelné vodivosti λ materiálů [3]

Materiál	λ [W/(m·K)]
Měď	372
Železo	58
Půda písčité vlhká	2,300
Beton	1,360
Zdivo z cihel plných pálených CP	0,840
Dřevo měkké	0,180
Pórobeton Ytong LAMBDA P2-300	0,085
Minerální vata	0,042
Vakuová izolace	0,010

Vliv vlhkosti a struktury materiálu na součinitel tepelné vodivosti:

U porézních materiálů (cihly, beton, dřevo, vláknité izolace) závisí součinitel tepelné vodivosti λ na obsahu vlhkosti. Toto zvýšení není zcela zanedbatelné. Proto se v české tepelně technické normě uvádí tzv. výpočtové hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ . Ta zahrnuje hodnotu při reálné vlhkosti zabudovaných stavebních konstrukcí. Konstrukce budované „mokrým procesem“ obsahují zpočátku poměrně hodně vody. Praktickým důsledkem je známá skutečnost, že nově dokončené prostory potřebují zpočátku více tepla na vytápění. Nejde jen o teplo na odpar vody, ale i na pokrytí větší tepelné ztráty.

Například německé výzkumy ukazují, že eliminací kondenzace a následným vysušením cihlového obvodového zdiva se spotřeba tepla na vytápění domu sníží až o 30 % [19].

7.1.2 Měrná tepelná kapacita (specific heat capacity)

$$c \text{ [J/(kg·K)]}$$

Měrná tepelná kapacita c je množství tepelné energie, kterou je třeba dodat při stálém tlaku, vzorku materiálu o definované vlhkosti a hmotnosti 1 kg, aby se jeho teplota zvýšila o 1 K a je definována vztahem:

$$c = \frac{E}{m \cdot \Delta\theta},$$

E je tepelná energie (množství přivedeného tepla) [J],

m je hmotnost materiálu [kg],

$\Delta\theta$ je přírůstek teploty [K].

Tab. 5: Přehled vlastností některých materiálů užitých v praktické části práce

Materiál	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
tvarovka Porotherm 30 Profi	0,180	850	1000
vnitřní omítka Porotherm Universal	0,450	1450	800
tvarovka KM Beta Sendwix 16DF- LD 240 mm	0,370	1400	1000
EPS Extrapor 70 F	0,032	20	1270
dlažba keramická	1,010	2000	840
pěnové sklo RefaGlass 4-16	0,080	180	840
dřevěné vlysy	0,180	600	2510

Pozn. Hodnoty převzaty z normy [3] ev. z technických listů výrobců materiálů.

7.1.3 Součinitel teplotní vodivosti (*temperature diffusivity factor*)

$$a \text{ [m}^2\text{/s]}$$

Součinitel teplotní vodivosti a je schopnost stejnorodého materiálu o definované vlhkosti vyrovnávat rozdílné teploty při neustálém vedení tepla.

Je dán vztahem:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho},$$

λ je součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$],

c je měrná tepelná kapacita [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$],

ρ je objemová hmotnost ve stavu definované vlhkosti [kg/m^3].

Součinitel tepelné vodivosti charakterizuje rychlost změny teploty v určitém místě způsobené změnou povrchové teploty. Čím je tedy hodnota menší, tím menší je rychlost změny teploty a materiál vykazuje větší stabilitu.

Vliv součinitele teplotní vodivosti stavebních materiálů

Materiály, které mají nízkou hodnotu teplotní vodivosti, lze aplikovat pro jednovrstvé zdivo. Patří mezi ně materiály, které mají vyvážené vlastnosti, např. dřevo nebo keramické tvárnice.

U vícevrstvých konstrukcí je žádoucí, aby vnitřní vrstva měla vysokou hodnotu součinitele teplotní vodivosti a vnější vrstva co nejmenší. Vysoká hodnota na vnitřním povrchu zajistí rychlé ukládání a uvolňování energie do vnitřního prostředí. Nízká hodnota na vnějším povrchu naopak přispěje k tepelné setrvačnosti, kdy zpomalí zisk a ztrátu energie z vnitřního prostředí.

7.1.4 Množství tepla

$$Q \text{ [J]}$$

Tepelnou energii lze uchovávat v kapalných, plynných i pevných látkách. Množství tepla Q přijatého látkou je dle literatury přímo úměrné jeho hmotnosti m , měrné objemové kapacitě c a rozdílu počáteční a koncové teploty $\Delta\theta$.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

7.2 Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí

7.2.1 Tepelný odpor konstrukce (*thermal resistance*)

$$R \text{ [(m}^2\cdot\text{K)/W]}$$

Tepelný odpor konstrukce vyjadřuje míru, jak je konstrukce schopna izolovat interiér vzhledem k venkovním teplotám. Tepelný odpor R závisí na tloušťkách jednotlivých materiálových vrstev dané konstrukce a jejich součiniteli tepelné vodivosti λ .

Je vyjádřen vztahem:

$$R = \sum \frac{d_j}{\lambda_j},$$

d_j je tloušťka vrstvy j -té konstrukce [m],

λ_j je součinitel tepelné vodivosti j -té konstrukce [W/(m·K)].

Pozn. Od prosince 1964 se požadavky v tepelně technické normě ČSN 73 0540 vyjadřovali jen pomocí tepelného odporu R . Od listopadu 2002 se vyjádření požadavku sjednotilo na užívání jen součinitele prostupu tepla se značkou U pro všechny konstrukce (zajištění souladu se způsobem vyjadřování požadavku v rámci CEN) [20].

7.2.2 Součinitel prostupu tepla (*transmission heat loss coefficient*)

$$U \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$$

Součinitel prostupu tepla U je hlavní veličinou pro hodnocení tepelně technických parametrů obvodové obálky stavby. Hodnotí prostup tepla stavebních konstrukcí se započtením k ní přilehlých vzduchových vrstev. Zjednodušeně řešeno U udává, kolik tepla projde jedním čtverečním metrem konstrukce při rozdílu teplot 1 K na vnitřní a vnější straně konstrukce.

Je dán vztahem:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}},$$

R_{si} je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [(m²·K)/W],

R_{se} je odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [(m²·K)/W],

R_T je odpor konstrukce při prostupu tepla (z prostředí do prostředí) [(m²·K)/W].

Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti

Při přesném výpočtu součinitele prostupu tepla nehomogenní konstrukce, jakou jsou zděné stěny, je nutné uvažovat všechny tepelné vazby a mosty, včetně ložných spár, hmoždinek a podobných detailů. Ty mohou i významně zhoršit hodnotu U , vypočtenou u ideálně homogenní konstrukce. Jejich výpočet je poměrně složitý, a čím je geometrie a nepravidelnost stěny větší, tím je složitější a méně přesný.

Požadavky na součinitel prostupu tepla U_N jednotlivých obvodových konstrukcí závazně stanovuje norma ČSN 73 0540-2 [2].

Tab. 6: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla U_N pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou $\theta_{im} = 18$ až 22 °C podle normy z roku 2011 [2].

Popis konstrukce	Typ konstrukce	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
		U_N [W/(m ² ·K)]	U_N [W/(m ² ·K)]	$U_{pas,20}$ [W/(m ² ·K)]
Stěna vnější	lehká	0,30	0,20	0,18 až 0,12
	těžká		0,25	
Střecha strmá se sklonem nad 45°		0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně		0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem		0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)		0,30	0,20	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině		0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru		0,60	0,40	0,30 až 0,20
Stěna mezi sousedními budovami		1,05	0,70	0,5
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně		2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně		2,7	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří		1,5	1,2	0,8 až 0,6
Dveřní výplň otvoru vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)		1,7	1,2	0,9

7.2.3 Lineární činitel prostupu tepla (*linear thermal transmittance*)

$$\psi \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]}$$

Lineární činitel prostupu tepla ψ udává vliv liniového tepelného mostu (např. roh dvou stěn, spoj stěny a podlahy nebo stropu, spoj stěny a okenní výplně atd.) na tepelný prostup. Kladné číslo udává, o kolik je vyšší tepelný tok v místě lineárního mostu proti tepelnému toku v běžné ploše konstrukce. Jeho zanedbáním by tedy ve výpočtu měrné potřeby tepla na vytápění došlo ke zkreslení výsledku a podcenění tepelných ztrát. Záporné číslo naopak znamená, že detail dokonce snižuje tepelné ztráty a zlepšuje tím celkovou energetickou bilanci.

Kromě toho, že tepelné mosty zvyšují ztráty tepla prostupem, mohou způsobovat i závažné degradace stavebních konstrukcí vlivem kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu detailu nebo uvnitř konstrukce. To má za následek další snižování izolačních schopností detailu a jeho okolí, čtené destrukce konstrukcí i zhoršení hygieny interiéru.

7.2.4 Vnitřní povrchová teplota (*surface temperature*)

$$\theta_{si,cr} \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

Velmi důležitým požadavkem je požadavek na nejnižší povrchovou teplotu obvodových konstrukcí θ_{si} , resp. na teplotní faktor. Smyslem je zajistit, aby na vnitřním povrchu konstrukcí nehrozila kondenzace vlhkosti z vnitřního vzduchu. Takovéto rosení pak způsobuje růst plísní i další problémy, dlouhodobé rosení může vést i k poruchám konstrukcí. Jedná se tedy o velmi důležitou podmínku, jejíž splnění má zásadní vliv na životnost obvodových konstrukcí a jejich povrchových úprav i na hygienické parametry interiéru.

Kritickými místy z hlediska vnitřní povrchové teploty jsou především tepelné mosty a tepelné vazby mezi obvodovými konstrukcemi. Proto je nutné provést výpočet nejnižší povrchové teploty u všech předvídatelných tepelných mostů a vazeb.

Kritická vnitřní povrchová teplota $\theta_{si,cr}$ závisí na teplotě vnitřního vzduchu θ_{ai} a jeho relativní vlhkosti φ_i . Je to taková teplota, při které za daných parametrů nabývá vzduch v těsné blízkosti povrchu kritické hodnoty relativní vlhkosti $\varphi_{si,cr} = 100 \text{ \%}$ u výplní stavebních otvorů, a 80 % u ostatních konstrukcí, včetně stěn.

7.2.5 Teplotní útlum konstrukce (*thermal heat damping*)

ν [-]

Teplotní útlum konstrukce je vlastností těsně související s její tepelně akumulací schopností. Významně se projevuje v letním období, kdy stavební konstrukce tlumí účinek teplotní amplitudy z vnějšího prostředí, který proniká do interiéru. V zimním období vliv teplotního útlumu konstrukce ustupuje do pozadí, neboť se uplatní zejména tepelný odpor obvodové konstrukce (na větší teplotní výkyvy reaguje většinou automatika vytápěcího systému, která redukuje lokální teplotní výkyvy).

Teplotní útlum je podíl venkovní amplitudy venkovního vzduchu a teplotní amplitudy na vnitřním povrchu konstrukce. Teplotní útlum se nejvíce projeví:

- v zimním období během topné sezóny dochází k ohřevu obvodových konstrukcí. Čím je tepelně akumulací schopnost stavební konstrukce vyšší, tím pomaleji nastává ochlazování konstrukce a vnitřního vzduchu vlivem nízkých venkovních teplot;
- v letním období zejména u lehčích stavebních konstrukcí (střešní nadstavby apod.) dochází vlivem nedostatečné tepelné akumulace k výraznému zvýšení teplot v místnostech přiléhajících k obvodové konstrukci.

7.2.6 Fázový posun

$\Delta \tau$ [h]

S teplotním útlumem konstrukce závisí ještě fázový posun teplotní vlny. Fázový posun je doba, za kterou dojde k průchodu teplotní vlny obvodovou konstrukcí, neboli s jakým zpožděním se projeví maximální teplota venkovního vzduchu na vnitřním povrchu konstrukce.

Tato veličina může být důležitá z pohledu jejího využití jako pasivní techniky pro udržení vhodného vnitřního mikroklima v budově. Kladná amplituda denních teplot vlivem zpoždění při průchodu konstrukcí by mohla při vhodném materiálovém a konstrukčním nastavení ohřívat vnitřní vzduch během nočních hodin a naopak ochlazovat jej během poledních teplot.

Vliv fázového posunu

Hodnoty fázového posunu $\Delta\tau_f$ prokázaly, že velmi lehké konstrukce reagují na vnější teplotu vzduchu s malým zpožděním do 3 hodin. Lehké konstrukce jsou poněkud horší než těžké konstrukce zateplené z vnější strany, avšak některé lehké konstrukce s vhodnou izolací jim už dobře konkurují. Velmi těžké konstrukce mají díky své hmotě velký fázový posun, mnohdy větší než 24 hodin a navzdory horšímu součiniteli prostupu tepla U mají velmi příznivý fázový posun.

7.2.7 Faktor difuzního odporu (*water vapour diffusion resistance factor*)

$$\mu [-]$$

Za základní veličinu, charakterizující schopnost stavebních materiálů propouštět vodní páru, lze považovat faktor difuzního odporu μ . Jeho hodnota udává, kolikrát je konkrétní stavební materiál méně propustný pro vodní páru než vzduch.

$$\mu = \frac{\delta_A}{\delta},$$

δ_A je součinitel difuzní vodivosti vzduchu $[\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})] = [\text{s}]$,

δ je součinitel difuzní vodivosti materiálu $[\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})] = [\text{s}]$.

Pro prostup vodní páry stěnou jsou ale důležité vlastnosti všech vrstev stěny, včetně omítek a povrchových úprav.

Všechny vrstvy stěny by měly mít přibližně stejný difuzní odpor μ , případně by difuzní odpor vrstev stěny měl klesat směrem z interiéru do exteriéru tak, aby ve stěně nedocházelo k nadměrné kondenzaci vodní páry.

8 TEPELNÁ AKUMULACE A TEPELNÁ STABILITA KONSTRUKCÍ

8.1 Lehké konstrukce a těžké konstrukce

Za „lehké konstrukce“, tedy konstrukce s nízkou tepelnou setrvačností, se podle normy ČSN 73 0540 považují takové konstrukce, které mají plošnou hmotnost vrstev nižší než 100 kg/m^2 . Ostatní konstrukce jsou považovány za „těžké“, tj. za konstrukce s vysokou tepelnou setrvačností.

Toto jednoduché rozdělení umožňuje i v uvažovaném ustáleném teplotním stavu odlišně hodnotit konstrukce s velmi nízkou tepelnou setrvačností (nízkou tepelnou akumulací) při zohlednění jejich velmi rychlé reakce na proměnné okrajové podmínky, což se projevuje nepříznivě [20].

8.2 Tepelná stabilita místnosti v letním období

Tepelná stabilita v letním období je schopnost budovy, kterou se hodnotí způsobilost stavební části budovy spolu s vhodným větráním vzdorovat přehřívání v letním období bez působení klimatizační soustavy [20].

Tento normový požadavek je významný pro zajištění základních požadavků na budovy, které se týkají ochrany zdraví, zdravých životních podmínek, životního prostředí a především také úspory energie a tepelné ochrany budov.

Požadavek je vyjádřen dvěma odlišnými způsoby. Hodnotit lze buď nejvyšší denní vzestup teploty vnitřního vzduchu, nebo nejvyšší denní teplotu vzduchu v místnosti.

Tab. 7: Požadované hodnoty nejvyššího denního vzestupu teploty vzduchu a nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období [2]

Druh budovy		Nejvyšší denní vzestup teploty vzduchu v místnosti v letním období $\Delta\theta_{ai,max,N} [^{\circ}\text{C}]$	Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období $\theta_{ai,max,N} [^{\circ}\text{C}]$
Nevýrobní		5,0	27,0
Ostatní s vnitřním zdrojem tepla	do 25 W/m^3	7,5	29,5
	nad 25 W/m^3	9,5	31,5

8.3 Potenciál vnitřních vrstev konstrukce akumulovat teplo

Tepelnou energii lze uchovávat v látkách. Potenciál akumulace udává, jaké množství tepla je látka schopna přijmout nebo odevzdat. Materiály s vyšší měrnou akumulovanou energií mají lepší tepelnou setrvačnost.

Vysoká tepelná akumulace je u trvale obydlených staveb s nízkými požadavky na rychlost změny teplot v interiéru velmi prospěšná. Tento fakt zohledňuje dokonce tepelně technická norma ČSN 73 0540, která stanovuje pro lehké konstrukce s malou akumulací dokonce vyšší tepelně izolační vlastnosti, než pro konstrukce masivní.



Obr. 9: Provádění vnitřních vyzdívek z nepálených cihel za účelem zvýšení tepelné setrvačnosti budovy [21]

Do zvyšování tepelné setrvačnosti budovy se s výhodou zapojují zejména vnitřní konstrukce – střední stěny a strop. V tomto směru je vhodné realizovat různé kombinované konstrukce. Masivní akumulární konstrukce, zejména u lehkých dřevostaveb, mohou být například vnitřní stěny z nepálených nebo vápenopískových cihel, případně dřevo-betonový strop. Na druhé straně je někdy přehnané očekávání velkého efektu u použití cihlářských výrobků v jejich dnes velmi vylehčené formě.

Velmi nevhodné jsou z tohoto hlediska izolační materiály a lehké stavební materiály, jako jsou sádkokartony a pórobetonové tvárnice. Naopak velmi dobré materiály pro akumulování energie jsou těžké stavební materiály, jako jsou beton, cihla plná pálená a vápenopískové cihly.

V době, kdy je teplota vzduchu v interiéru vyšší, než je teplota konstrukce, dochází k akumulaci tepla v konstrukci a tudíž ke zvýšení její teploty. V opačném případě mechanismus funguje stejným způsobem. Vyšší akumulace tepla v konstrukci sníží kolísání teploty vnitřního vzduchu. Ke stabilizaci vnitřního prostředí může přispět pouze část konstrukce blízko vnitřního povrchu. U těžkých stěn zateplených z vnější strany se teplotní spád soustřeďuje do tepelné izolace. Těžká hmota s velkou tepelnou kapacitou je v celé své tloušťce ohřata na teplotu blízkou teplotě vzduchu v interiéru a maximálním způsobem přispívá ke stabilitě vnitřní teploty.

Tab. 8: Přehled vlastností některých materiálů užitých v praktické části práce II

Materiál	Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Součinitel tepelné vodivosti
	c [J/(kg·K)]	ρ [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]
tvarovka Porotherm 30 Profi	1000	850	0,180
Vnitřní omítka Porotherm	800	1450	0,450
EPS Extrapor 70 F	1270	20	0,032
Dřevěné vlysy	2510	600	0,180

Pozn. Hodnoty převzaty z normy [3] ev. z technických listů výrobců materiálů.

Ovšem obecně je potřeba mít na paměti i ostatní vlivy, které interiérovou teplotu úspěšně zvyšují, aniž se jedná pouze o teplo, které projde obvodovým pláštěm a střešní konstrukcí. Pouze samotnými zasklenými plochami lze získat přes den v letním období velmi významné tepelné zisky, které zvýší teplotu v interiéru. Naopak v nočním letním čase vlivem větrání dojde k ochlazení interiéru mnohem rychleji než prostupem obvodovou konstrukcí.



Obr. 10: Akumulační konstrukce u lehkých dřevostaveb v podobě dřevo-betonového spřaženého stropu [21]

9 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

9.1 Systémové zpracování práce

Cílem práce je zhodnotit projevy fyzikálních vlastností různých staviv v budovách v nízkoenergetickém stavitelství. Práce je zaměřena především na vliv tepelně – akumulačních vlastností stavebních materiálů užívaných v budovách za účelem dosažení nízké potřeby energie na vytápění.

V experimentální části byl vybrán jeden konkrétní objekt – dvoupodlažní rodinný dům s klasickou orientací ke světovým stranám. Dům je popsán níže na vyhotovených vizualizacích a v závěru práce na přiložených projektech studie domu.

Tepelné chování vybraného objektu bylo hodnoceno na základě obecného numerického nestacionárního principu uspořádání tepelného systému objektu – simulace prostřednictvím programu *Stabilita*. Dále bylo vypracováno hodnocení domu z hlediska průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy.

Tab. 9: Užití konstrukčně - materiálové varianty posuzovaného domu

Pořadí	Konstrukčně - materiálová varianta objektu
1	Keramický zdící systém POROTHERM
2	Vápenopískový zdící systém SENDWIX
3	Systém stěnového ztraceného bednění z izolace s betonovým jádrem
4	Zdící systém z autoklávovaného pórobetonu YTONG
5	Lehká dřevostavba ze systému STEICO nosníků

Pozn. Kompletní detailní popis skladeb jednotlivých konstrukcí všech pěti materiálových variant je uveden dále.

Projevy fyzikálních a tepelně - akumulačních vlastností stavebních materiálů byly na témže objektu, pro porovnání tepelného chování domu, simulovány na pěti různých, v dnešní výstavbě běžně užívaných konstrukčně - materiálových variantách. Všechny materiálové varianty byly simulovány ve dvou sadách působení vnějších vlivů, a to ve variantě zcela bez působení sluneční energie z vnějšího prostředí na budovu a ve variantě se standardním působením slunečního záření, tedy včetně pasivních solárních zisků domu.

9.2 Použitá výpočtová metodika

Pro výpočtové hodnocení práce bylo užito obecného numerického nestacionárního principu uspořádání tepelného systému objektu. V tomto systému lze volně nastavit požadované klimatické údaje, které odpovídají reálným okrajovým podmínkám.

9.2.1 Počítačové simulace

Počítačové simulace se vyvinuly s nástupem rychlých počítačů a používají se jako náhrada při modelování systémů. Simulace představuje v matematice a v kybernetice metodu, při které lze zkoumat vlastnosti vybraného systému pomocí experimentů s jeho matematickým modelem.

Prvním krokem při počítačovém modelování bývá sestavení matematického modelu zkoumaného systému. Model může být získán buď teoreticky ze základních fyzikálních vlastností systému, nebo empiricky z naměřených hodnot. Určování parametrů teoreticky vytvořeného modelu z empirických hodnot se nazývá identifikace systému.

Matematický model musí vhodně charakterizovat závislost výstupů systému na jeho vstupech. Modely fyzikálních soustav jsou obvykle sestaveny jako soustavy diferenciálních rovnic, pro které se používá popisu systémem diferenčních rovnic, stochastickými diferenciálními rovnicemi, přenosové funkce v Laplaceově transformaci nebo zcela jiný matematický aparát.

Model ale málokdy dokáže popsat děje v přírodě dostatečně přesně. Výsledek lze např. získat použitím zjednodušujících předpokladů, nebo může být použit neodpovídající model. Při modelování je proto zásadní znát omezení použitého modelu.

Popisem se rozumí proces rozčlenění jevu na základní samostatné prvky, kterým lze přiřadit určité hodnoty a jistá pravidla, podle kterých se tyto prvky mezi sebou chovají. Počítačově simulovaná realita je proto založena na popisu skutečného světa a sama o sobě vytváří „zjednodušený svět“. Nesmíme však zapomínat, že z konečné množiny pozorování přírodních úkazů většinou usuzujeme na absolutní (tedy nekonečnou) platnost námi stanovených zákonů. Takové zákonitosti pak ovšem popisují spíše ideální svět než realitu.

Rovnice matematického modelu se řeší vhodnou numerickou metodou. Pro modelování v různých oborech byla vyvinuta řada specializovaných softwarových balíků, k nejznámějším patří například Matlab Simulink pro modelování dynamických systémů. V minulosti se používaly pro modelování analogové počítače (výpočet obyčejných diferenciálních rovnic s počátečními podmínkami) nebo simulační programovací jazyky, jako např. Simula (systémy s diskretními událostmi, *Discrete event simulation*).

9.2.2 Popis použitého programu

Pro simulaci nestacionárního modelování tepelného šíření v budově byl použit výpočetní program *Stabilita*. Jeho základy položil před lety S. Šťastník.

Hlavním vstupem je datový soubor obsahující formulovaný popis modelu budovy, který je určen jednotlivými místnostmi, tepelnými vazbami mezi nimi, materiálovými skladbami obvodových i vnitřních stěn, stropů, podlah a střech a jejich materiálovými charakteristikami. Tento soubor je zadáván v textovém formátu. Jako další vstupy byly doplněny soubory s konkrétními meteorologickými daty, zejména průběh venkovní teploty, intenzity slunečního záření, případně relativní vlhkosti venkovního vzduchu.

Výstupními daty jsou především průběhy teplot v jednotlivých místnostech, okamžitá spotřeba tepla na vytápění a celková spotřeba tepla za sledované období.

9.2.3 Princip nestacionárního výpočtu programem

Při simulaci nestacionárního vedení tepla budovou je nutné nejprve sestavit model zkoumaného objektu. Ten se skládá z libovolného počtu zón, které jsou ohraničeny libovolným počtem povrchů. Dále má model obvykle alespoň jednu tepelnou vazbu do okolí, obvykle s venkovním prostředím.

Jednotlivé uzly jsou propojeny tepelnými vazbami, které zastupují příslušné stavební konstrukce, v tomto případě svislé stěny, podlahy místností a střechu. Tyto konstrukce jsou tvořeny jednotlivými skladebnými vrstvami definovaných materiálů. Předpokládá se rovinnost vrstev a homogenní materiál.

Přenos tepla v rámci jedné konstrukce je popsán jako úloha nestacionárního šíření tepla, je započtena tepelná kapacita každé jednotlivé skladebné vrstvy stěny. Pro zvýšení přesnosti jsou materiálové vrstvy dále rozděleny na jednotlivé parciální vrstvy.

Použitý program *Stabilita* zohledňuje následující vlivy na tepelný stav objektu:

- tepelné toky z přiléhajících konstrukcí,
- tepelné toky výplněmi otvorů,
- pasivní zisky energie slunečního záření okny,
- tepelné toky způsobené výměnou vzduchu,
- tepelné zisky z vytápění.

V případě výpočtu spotřeby tepla je pro každou zónu stanovena návrhová teplota vzduchu a neznámou proměnnou právě tepelný zisk z vytápění. Vytápění je uvažováno jako řízeně přerušované a v každém časovém kroku je dodávána právě taková energie, která je potřebná pro udržení návrhové teploty. Celková spotřeba tepla je pak součtem energií ze všech časových intervalů.

9.3 Sledované údaje

Hlavním sledovaným údajem u všech posuzovaných variant simulací byla spotřeba energie na vytápění v zimním období. Ta byla zjišťována výše popsáním postupem. Byl zaznamenáván jak konkrétní průběh spotřeby vytápěcí energie v jednotlivých místnostech, tak kumulativní spotřeba energie za sledované období.

Dalším sledovaným údajem byly vnitřní teploty vzduchu v jednotlivých místnostech posuzovaného objektu.

9.4 Vybraný objekt

Posuzovaný objekt je dvoupodlažní rodinný dům o vnějších půdorysných rozměrech 8 x 10 metrů. Jedná se o samostatně stojící kompaktní rodinný dům se sedlovou střechou se sklonem 25°. Na podlahové ploše cca 120 m² je v 1. NP situován obývací pokoj s kuchyňským koutem, pracovna a technické zázemí, v 2. NP se nachází 3 ložnice, šatna a koupelna. V podstřešním prostoru se nachází neobytná půda. Na severní straně k domu přiléhá nevytápěná garáž. Na jižní stěně domu jsou realizována velká prosklení. Výplně otvorů jsou osazeny moderními trojskly. Jednotlivé konstrukce obvodových stěn, střechy, podlahových a stropních konstrukcí jsou posuzovány v různých uváděných konstrukčně – materiálových variantách.

Pro názornost byly zpracovány jednoduché vizualizace posuzovaného domu.



Obr. 11: Vizualizace posuzovaného domu J - V



Obr. 12: Vizualizace posuzovaného domu J - Z



Obr. 13: Vizualizace posuzovaného domu S - V

9.4.1 Skladby konstrukcí - keramický zdící systém (1)

Druh a skladba konstrukce	Tloušťka materiálu d mm	Součinitel tepelné vodivosti * λ_U W/(m·K)	Objemová hmotnost ρ kg/m ³	Měrná tepelná kapacita c J/(kg·K)
---------------------------	---------------------------------	--	--	---

SVISLÉ KONSTRUKCE

Obvodová stěna

vnitřní omítka POROTHERM UNIVERSAL	10 mm	0,495	1450	800
tvarovka POROTHERM 30 Profi	300 mm	0,198	850	1000
EXTRAPOR 70 F	200 mm	0,035	20	1270

Vnitřní příčka

vnitřní omítka POROTHERM UNIVERSAL	10 mm	0,495	1450	800
tvarovka POROTHERM 11,5 Profi	115 mm	0,286	850	1000
vnitřní omítka POROTHERM UNIVERSAL	10 mm	0,495	1450	800

VODOROVNÉ KONSTRUKCE

Podlahová konstrukce na terénu

dlažba keramická	10 mm	1,010	2000	840
betonová mazanina	60 mm	1,430	2300	1020
Isover EPS Grey	200 mm	0,034	20	1270
ŽLB deska	150 mm	1,740	2500	1020
pěnové sklo RefaGlass 4-16	200 mm	0,088	180	840

Podlahová konstrukce nad I.NP

dřevěné vlasy	20 mm	0,180	600	2510
cementový potěr vyztužený	60 mm	1,430	2300	1020
kročejová izolace ISOVER TDPT	40 mm	0,036	75	840
POROTHERM strop BN	250 mm	0,504	900	1000
vzduchová vrstva	180 mm	0,450	1,19	1200
SDK podhled s parozábranou	12,5 mm	0,220	750	1060

STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

MW ROCKMIN PLUS	400 mm	0,041	50	880
OSB deska	22 mm	0,120	680	1500
vzduchová vrstva	180 mm	0,450	1,19	1200
SDK podhled s parozábranou	12,5 mm	0,220	750	1060

Pozn. Hodnoty převzaty z normy [3] ev. z technických listů výrobců materiálů.

* V tabulce je uváděna návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti.

9.4.2 Skladby konstrukcí - vápenopískový zdící systém (2)

Druh a skladba konstrukce	Tloušťka materiálu d mm	Součinitel tepelné vodivosti * λ_U W/(m·K)	Objemová hmotnost ρ kg/m ³	Měrná tepelná kapacita c J/(kg·K)
---------------------------	---------------------------------	--	--	---

SVISLÉ KONSTRUKCE

Obvodová stěna

vnitřní omítka Profimix JM 303	10 mm	0,473	1400	800
tvárovka KM BETA SENDWIX 16DF-LD	240 mm	0,407	1400	1000
EXTRAPOR 70 F	250 mm	0,035	20	1270

Vnitřní příčka

vnitřní omítka Profimix JM 303	10 mm	0,473	1400	800
tvárovka KM BETA SENDWIX 4DF-LD	115 mm	0,506	1400	1000
vnitřní omítka Profimix JM 303	10 mm	0,473	1400	800

VODOROVNÉ KONSTRUKCE

Podlahová konstrukce na terénu

dlažba keramická	10 mm	1,010	2000	840
betonová mazanina	60 mm	1,430	2300	1020
Isover EPS Grey	200 mm	0,034	20	1270
ŽLB deska	150 mm	1,740	2500	1020
pěnové sklo RefaGlass 4-16	200 mm	0,088	180	840

Podlahová konstrukce nad I.NP

dřevěné vlasy	20 mm	0,180	600	2510
cementový potěr vyztužený	60 mm	1,430	2300	1020
kročejová izolace ISOVER TDPT	40 mm	0,036	75	840
SPIROLL strop	200 mm	1,200	1300	880
vzduchová vrstva	180 mm	0,450	1,19	1200
SDK podhled s parozábranou	12,5 mm	0,220	750	1060

STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

MW ROCKMIN PLUS	400 mm	0,041	50	880
OSB deska	22 mm	0,120	680	1500
vzduchová vrstva	180 mm	0,450	1,19	1200
SDK podhled s parozábranou	12,5 mm	0,220	750	1060

Pozn. Hodnoty převzaty z normy [3] ev. z technických listů výrobců materiálů.

* V tabulce je uváděna návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti.

9.4.3 Skladby konstrukcí - systém ztraceného bednění z izolace (3)

Druh a skladba konstrukce	Tloušťka materiálu d mm	Součinitel tepelné vodivosti * λ_U W/(m·K)	Objemová hmotnost ρ kg/m ³	Měrná tepelná kapacita c J/(kg·K)
---------------------------	---------------------------------	--	--	---

SVISLÉ KONSTRUKCE

Obvodová stěna

vnitřní omítka Profimix JM 303	10 mm	0,473	1400	800
ŽLB jádro	150 mm	1,580	2400	1020
NEOPOR izolace	250 mm	0,034	20	1270

Vnitřní příčka

vnitřní omítka Profimix JM 303	10 mm	0,473	1400	800
tvarovka KM BETA SENDWIX 4DF-LD	115 mm	0,506	1400	1000
vnitřní omítka Profimix JM 303	10 mm	0,473	1400	800

VODOROVNÉ KONSTRUKCE

Podlahová konstrukce na terénu

dlažba keramická	10 mm	1,010	2000	840
betonová mazanina	60 mm	1,430	2300	1020
Isover EPS Grey	200 mm	0,034	20	1270
ŽLB deska	150 mm	1,740	2500	1020
pěnové sklo RefaGlass 4-16	200 mm	0,088	180	840

Podlahová konstrukce nad I.NP

dřevěné vlasy	20 mm	0,180	600	2510
cementový potěr vyztužený	60 mm	1,430	2300	1020
kročejová izolace ISOVER TDPT	40 mm	0,036	75	840
SPIROLL strop	200 mm	1,200	1300	880
vzduchová vrstva	180 mm	0,450	1,19	1200
SDK podhled s parozábranou	12,5 mm	0,220	750	1060

STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

MW ROCKMIN PLUS	400 mm	0,041	50	880
OSB deska	22 mm	0,120	680	1500
vzduchová vrstva	180 mm	0,450	1,19	1200
SDK podhled s parozábranou	12,5 mm	0,220	750	1060

Pozn. Hodnoty převzaty z normy [3] ev. z technických listů výrobců materiálů.

* V tabulce je uváděna návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti.

9.4.4 Skladby konstrukcí - systém z autoklávovaného pórobetonu (4)

Druh a skladba konstrukce	Tloušťka materiálu d mm	Součinitel tepelné vodivosti * λ_U W/(m·K)	Objemová hmotnost ρ kg/m ³	Měrná tepelná kapacita c J/(kg·K)
---------------------------	---------------------------------	--	--	---

SVISLÉ KONSTRUKCE

Obvodová stěna

vnitřní stěrka	5 mm	0,429	1400	800
tvarovka YTONG Lambda YQ P2-300	500 mm	0,083	300	1000
vnější stěrka	5 mm	0,429	1400	800

Vnitřní příčka

vnitřní stěrka	5 mm	0,429	1400	800
vnitřní příčka YTONG P2-500	100 mm	0,137	500	1000
vnitřní stěrka	5 mm	0,429	1400	800

VODOROVNÉ KONSTRUKCE

Podlahová konstrukce na terénu

dlažba keramická	10 mm	1,010	2000	840
betonová mazanina	60 mm	1,430	2300	1020
Isover EPS Grey	200 mm	0,034	20	1270
ŽLB deska	150 mm	1,740	2500	1020
pěnové sklo RefaGlass 4-16	200 mm	0,088	180	840

Podlahová konstrukce nad I.NP

dřevěné vlasy	20 mm	0,180	600	2510
cementový potěr vyztužený	60 mm	1,430	2300	1020
kročejová izolace ISOVER TDPT	40 mm	0,036	75	840
YTONG stropní dílec P 4,4 - 600	240 mm	0,176	600	1050
vzduchová vrstva	180 mm	0,450	1,19	1200
SDK podhled s parozábranou	12,5 mm	0,220	750	1060

STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

MW ROCKMIN PLUS	400 mm	0,041	50	880
OSB deska	22 mm	0,120	680	1500
vzduchová vrstva	180 mm	0,450	1,19	1200
SDK podhled s parozábranou	12,5 mm	0,220	750	1060

Pozn. Hodnoty převzaty z normy [3] ev. z technických listů výrobců materiálů.

* V tabulce je uváděna návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti.

9.4.5 Skladby konstrukcí – dřevostavba (5)

Druh a skladba konstrukce	Tloušťka materiálu d mm	Součinitel tepelné vodivosti * λ_U W/(m·K)	Objemová hmotnost ρ kg/m ³	Měrná tepelná kapacita c J/(kg·K)
---------------------------	---------------------------------	--	--	---

SVISLÉ KONSTRUKCE

Obvodová stěna

SDK deska	12,5 mm	0,220	750	1060
MW	80 mm	0,041	50	880
OSB deska	18 mm	0,120	680	1500
nosníky STEICO a MW	240 mm	0,041	50	880
dřevovlákně STEICO Protect	60 mm	0,055	250	2100

Vnitřní příčka

SDK deska	12,5 mm	0,220	750	1060
MW	75 mm	0,041	50	880
SDK deska	12,5 mm	0,220	750	1060

VODOROVNÉ KONSTRUKCE

Podlahová konstrukce na terénu

dlažba keramická	10 mm	1,010	2000	840
betonová mazanina	60 mm	1,430	2300	1020
Isover EPS Grey	200 mm	0,034	20	1270
ŽLB deska	150 mm	1,740	2500	1020
pěnové sklo RefaGlass 4-16	200 mm	0,088	180	840

Podlahová konstrukce nad I.NP

dřevěné vlasy	20 mm	0,180	600	2510
OSB deska 2 × 12 mm	24 mm	0,120	680	1500
kročejová izolace ISOVER TDPT	35 mm	0,036	75	840
OSB deska	18 mm	0,120	680	1500
nosníky STEICO Joist - vzduchová vrstva	240 mm	0,450	1,19	1200
SDK podhled s parozábranou	12,5 mm	0,220	750	1060

STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

MW ROCKMIN PLUS	400 mm	0,041	50	880
OSB deska	22 mm	0,120	680	1500
vzduchová vrstva	180 mm	0,450	1,19	1200
SDK podhled s parozábranou	12,5 mm	0,220	750	1060

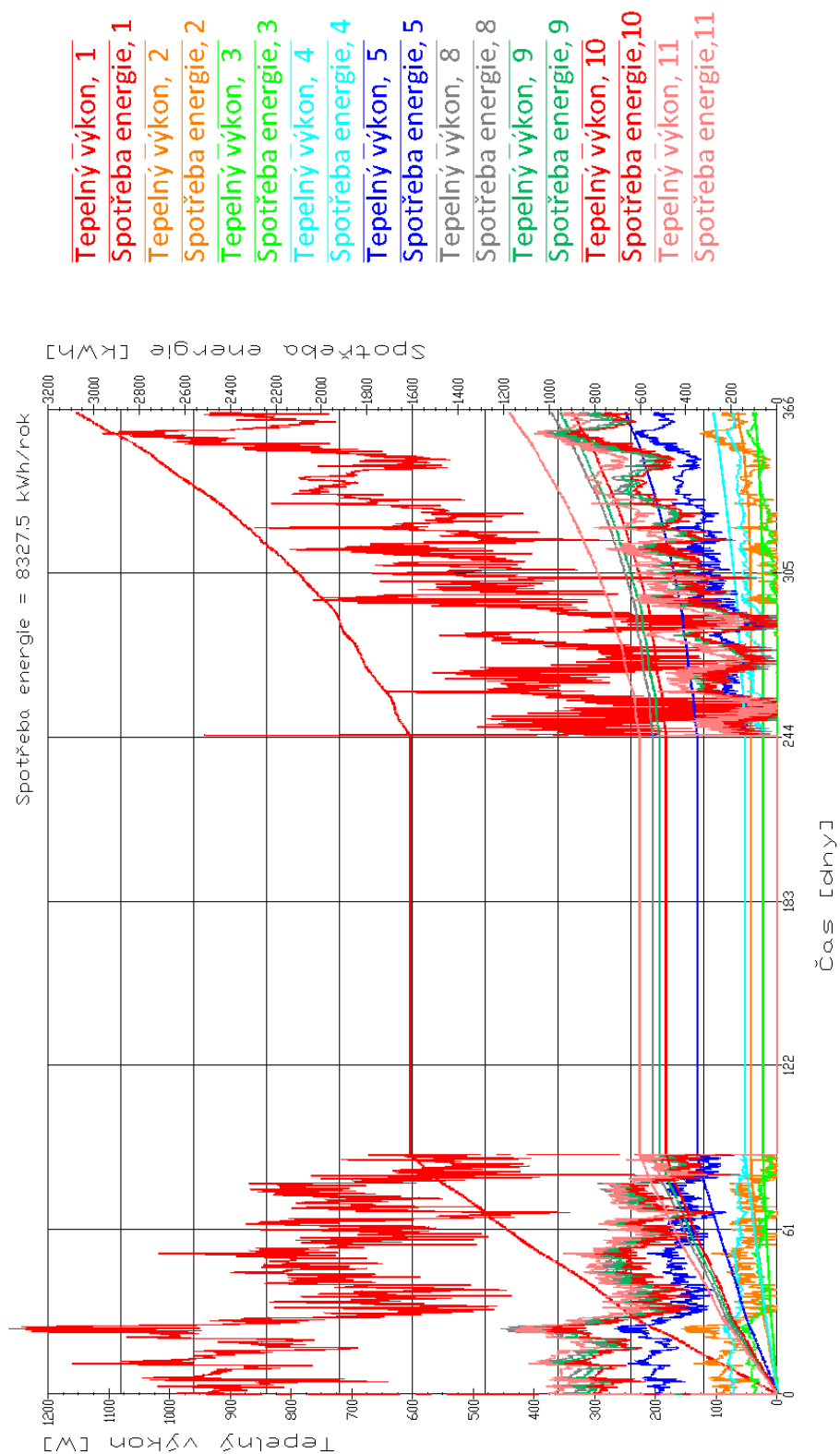
9.5 Grafické výstupy ze simulace programem Stabilita

Následují grafické výstupy simulovaného tepelného chování hodnoceného domu.

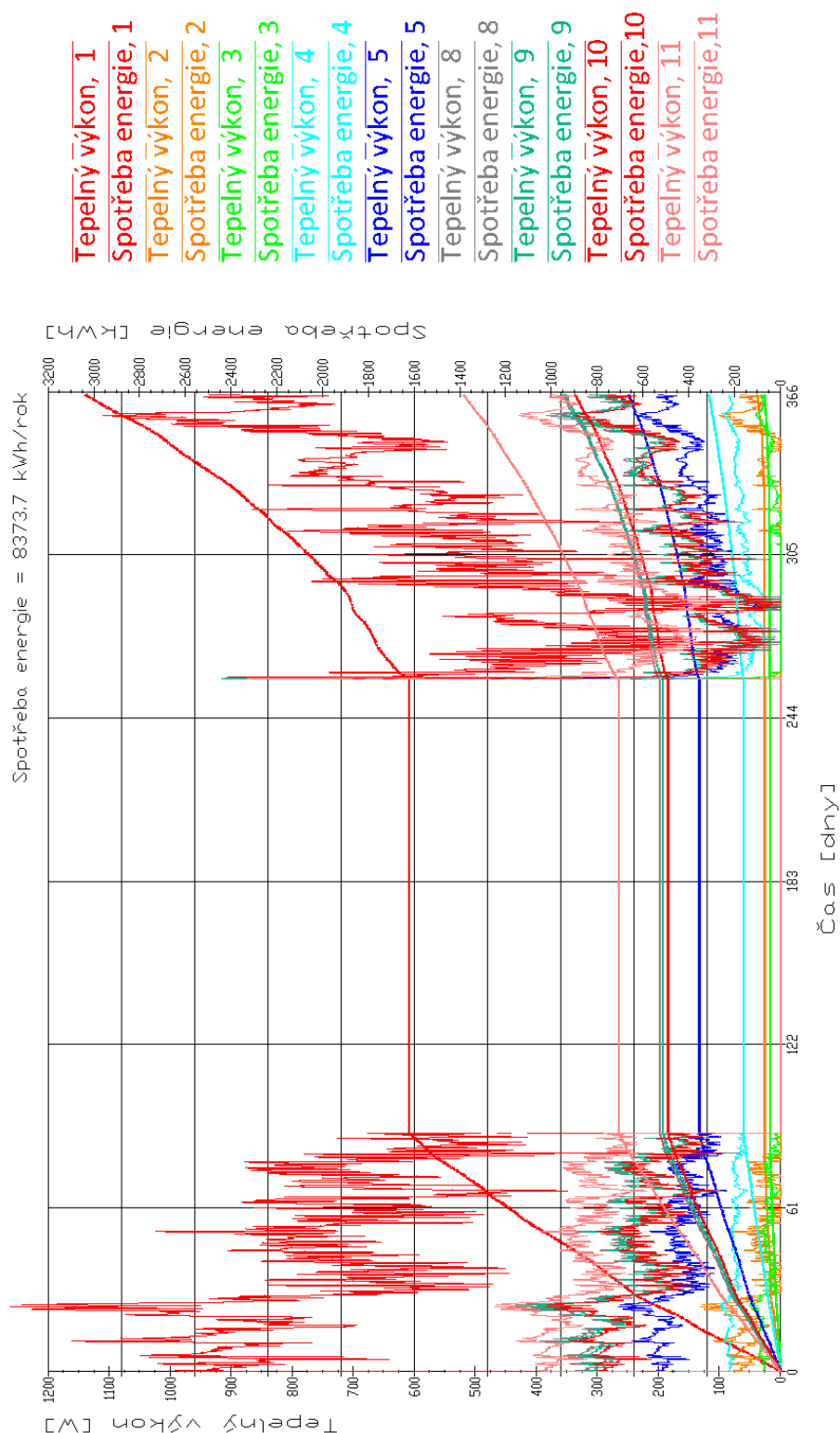
Projevy fyzikálních a tepelně - akumulačních vlastností stavebních materiálů byly na témže objektu, pro porovnání tepelného chování domu, simulovány na pěti různých, v dnešní výstavbě běžně užívaných konstrukčně - materiálových variantách. Všechny materiálové varianty byly simulovány ve dvou sadách působení vnějších vlivů, a to ve variantě zcela bez působení sluneční energie z vnějšího prostředí na budovu a ve variantě se standardním působením slunečního záření, tedy včetně pasivních solárních zisků domu.

Hlavním sledovaným údajem u všech posuzovaných variant simulací byla spotřeba energie na vytápění v zimním období. Byl zaznamenáván jak konkrétní průběh spotřeby vytápěcí energie v jednotlivých místnostech, tak kumulativní spotřeba energie za sledované období.

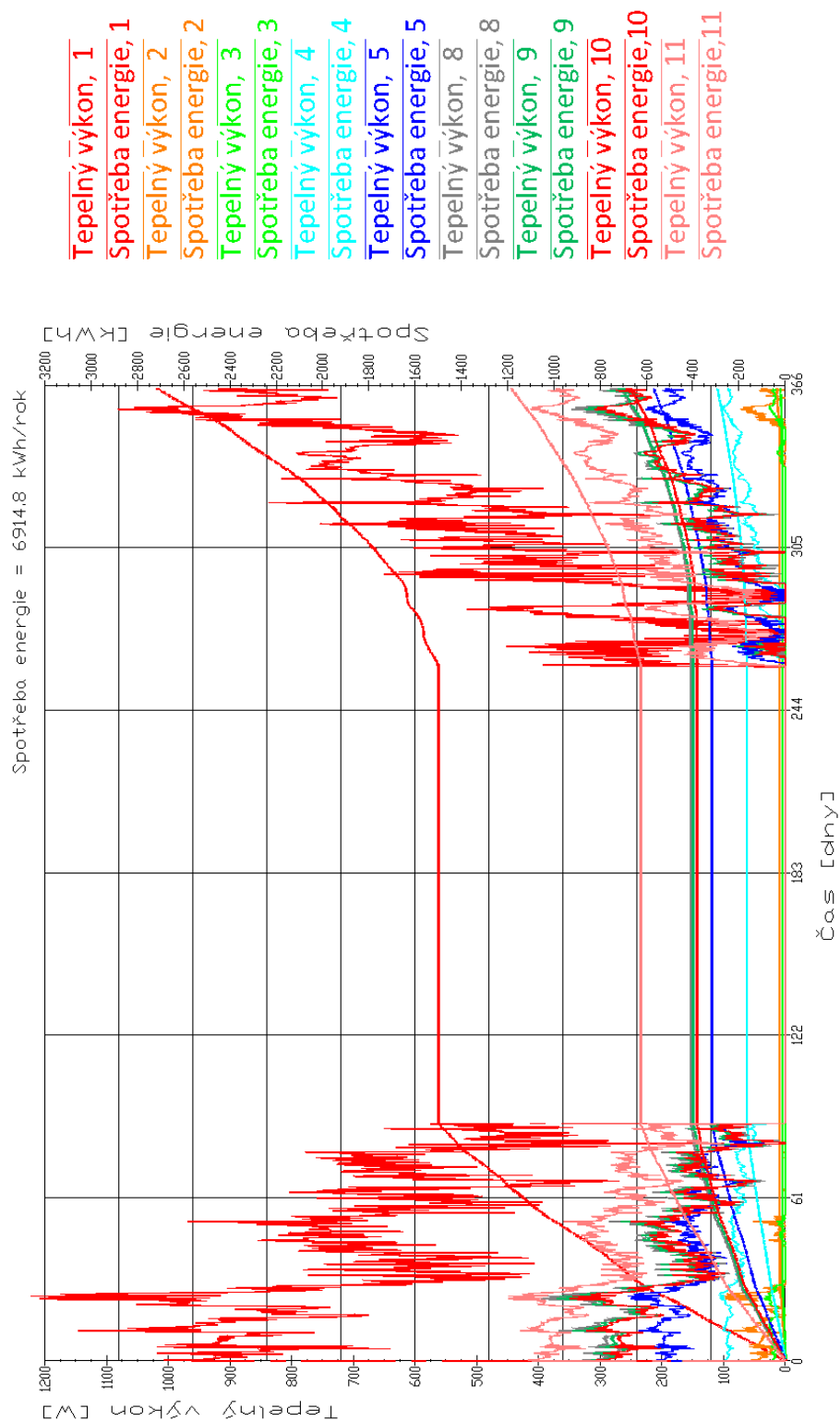
Dalším sledovaným údajem byly vnitřní teploty vzduchu v jednotlivých místnostech posuzovaného objektu.



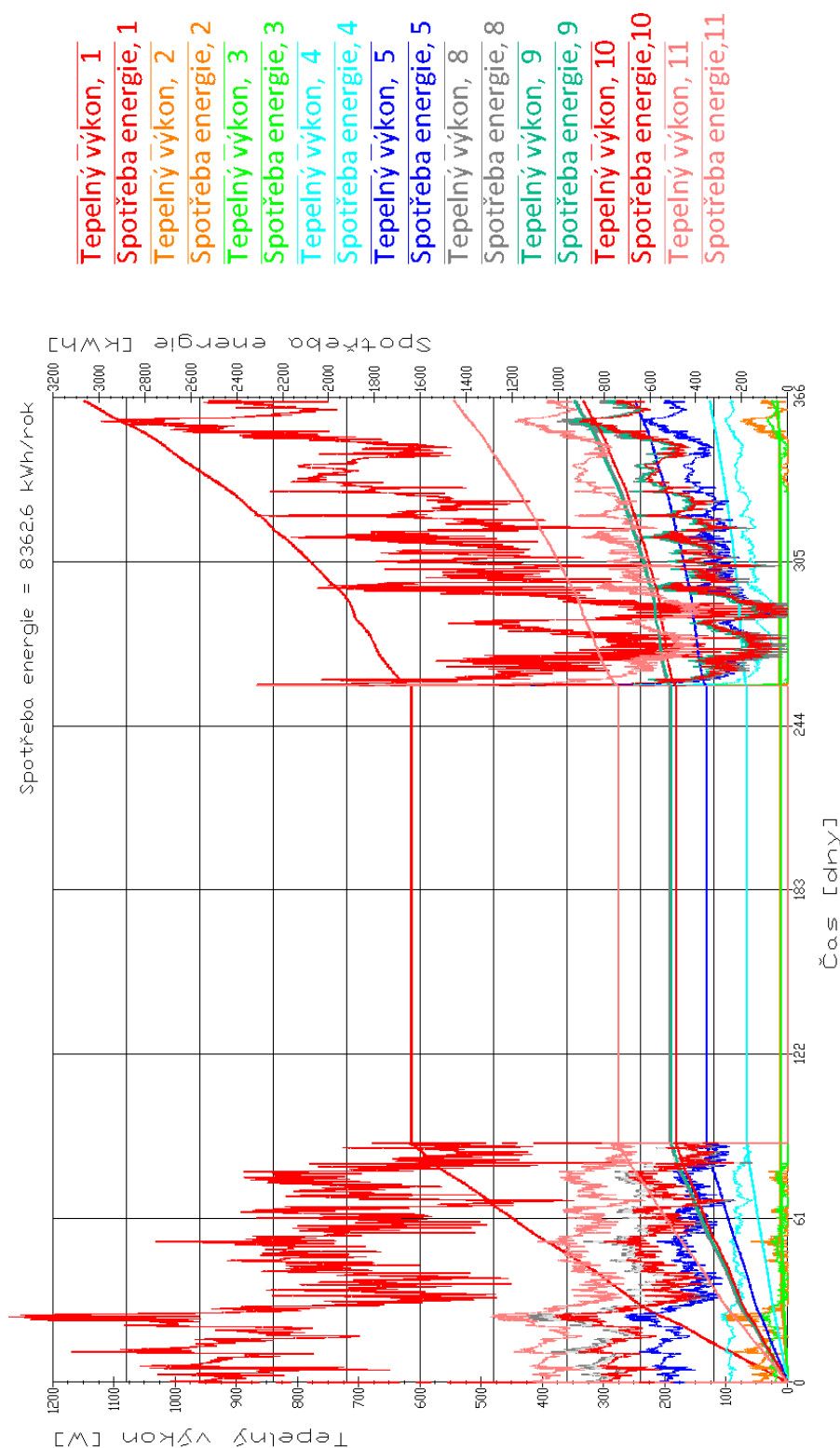
Graf 1: Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - keramický zděný systém (1) – se zohledněním energie ze slunce.



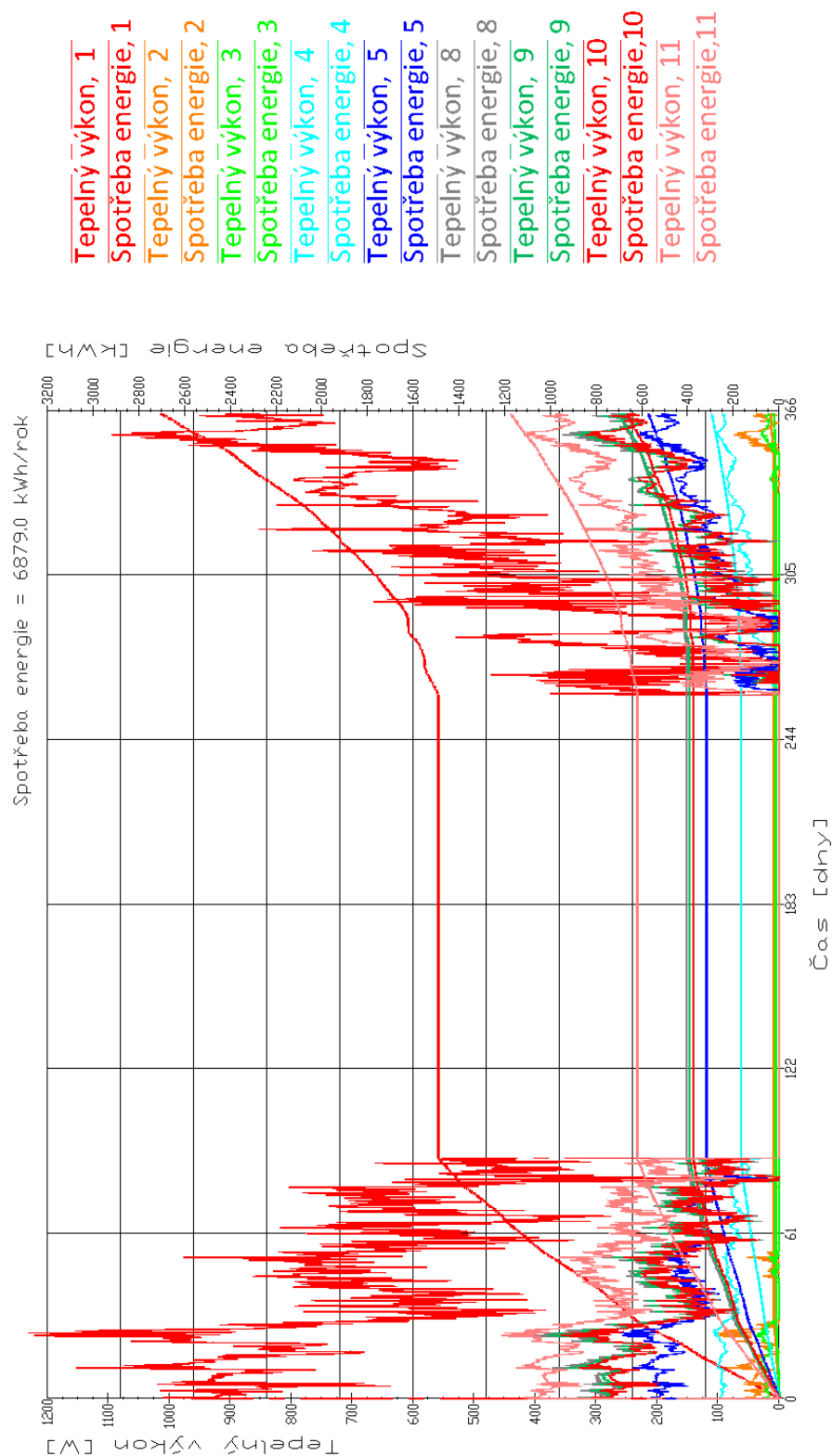
Graf 2: Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - keramický zdící systém (1) – bez zohlednění energie ze slunce.



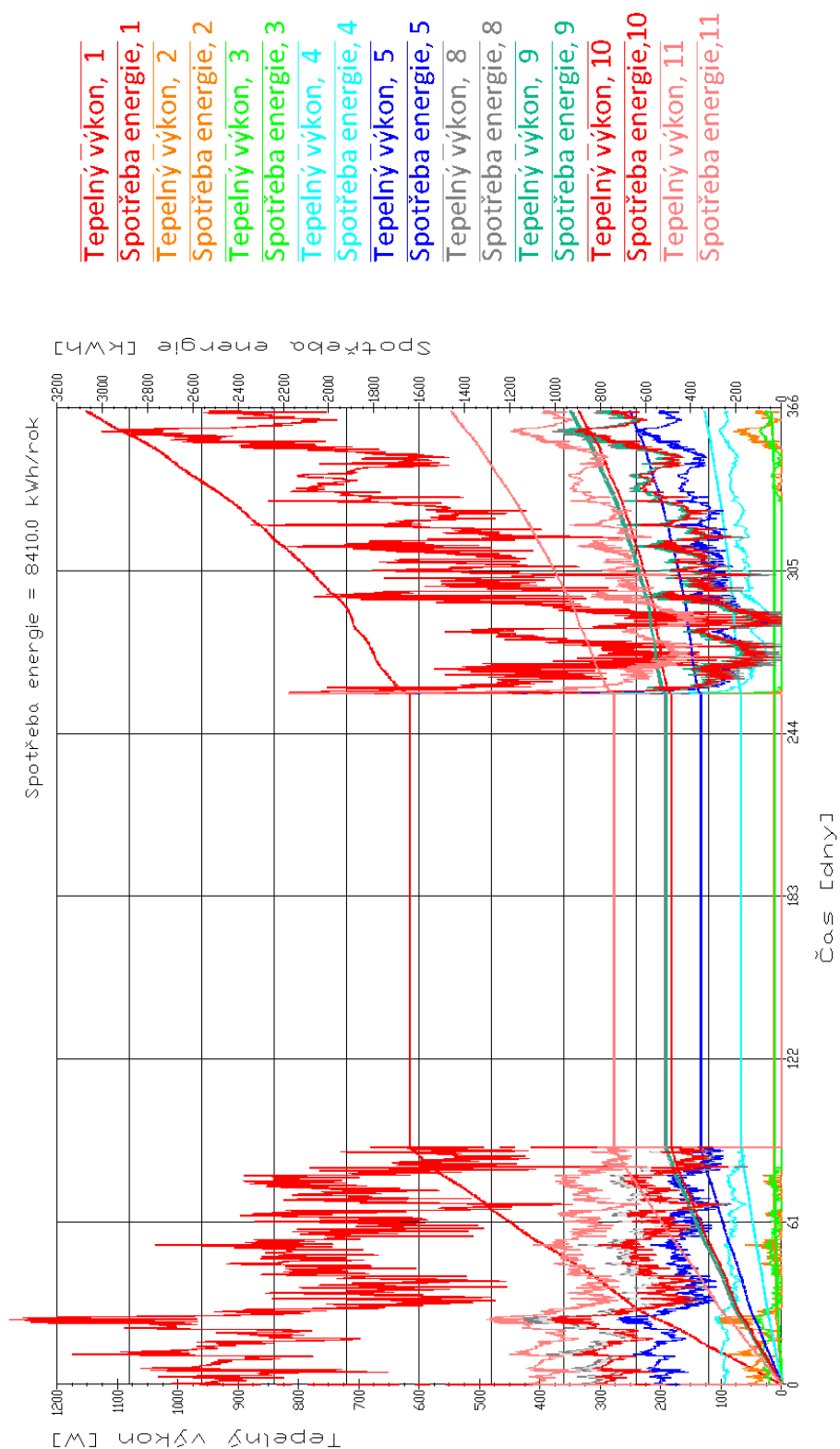
Graf 3: Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - vápenopískový zdící systém (2) – se zohledněním energie ze slunce.



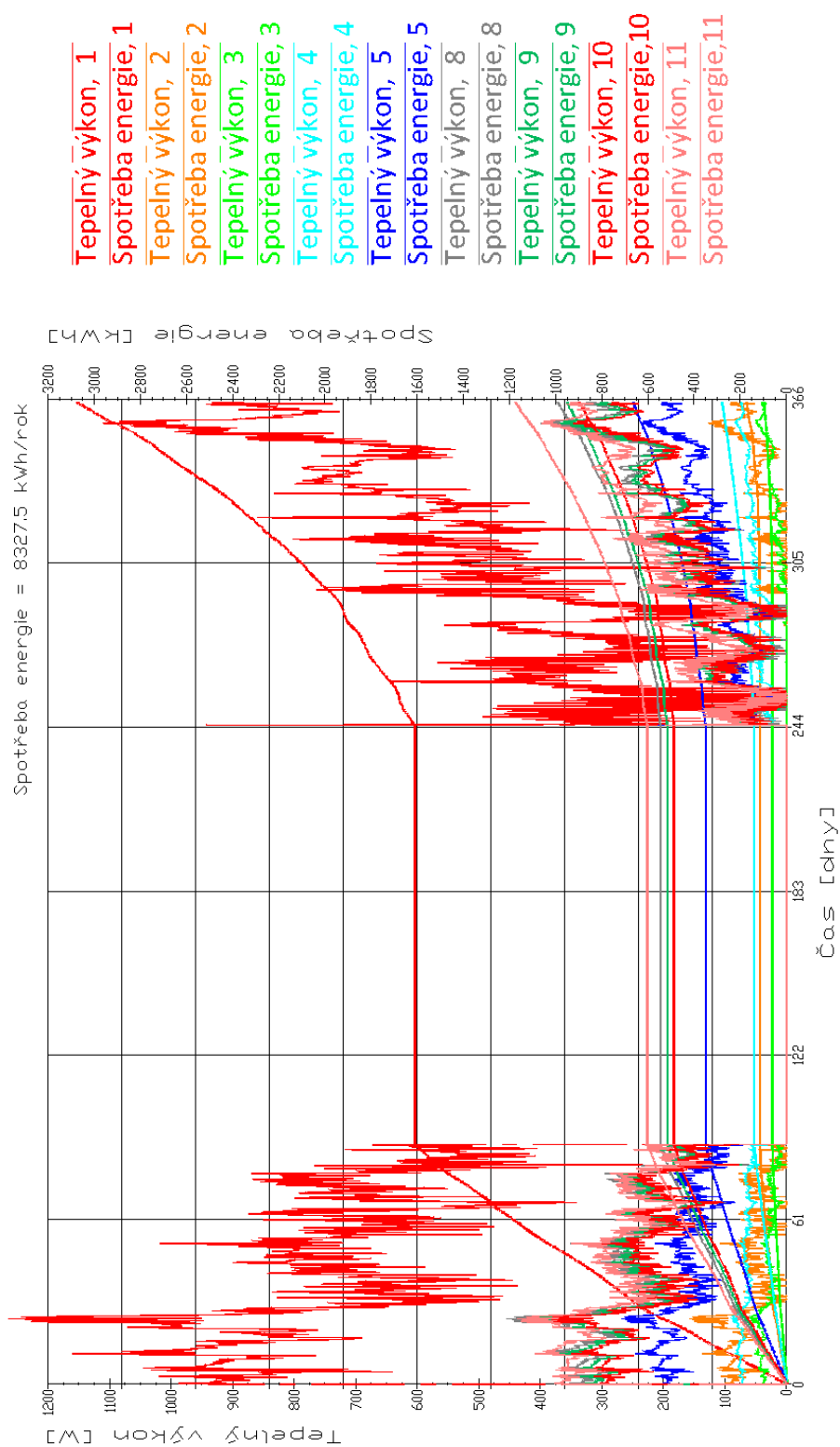
Graf 4: Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - vápenopískový zděný systém (2) - bez zohlednění energie ze slunce.



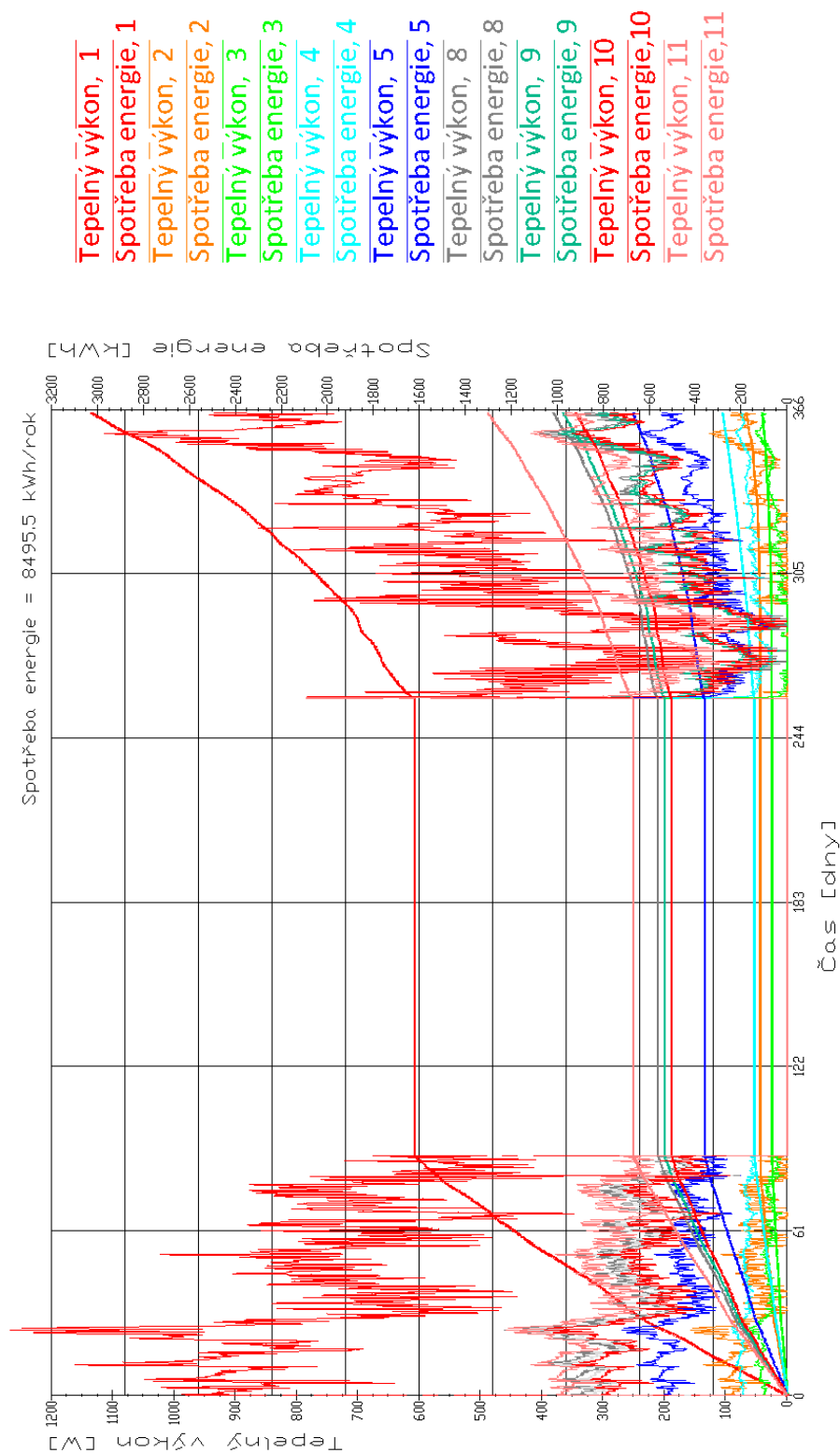
Graf 5: Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - systém ztraceného bednění z izolace s betonovým jádrem (3) - se zohledněním energie ze slunce.



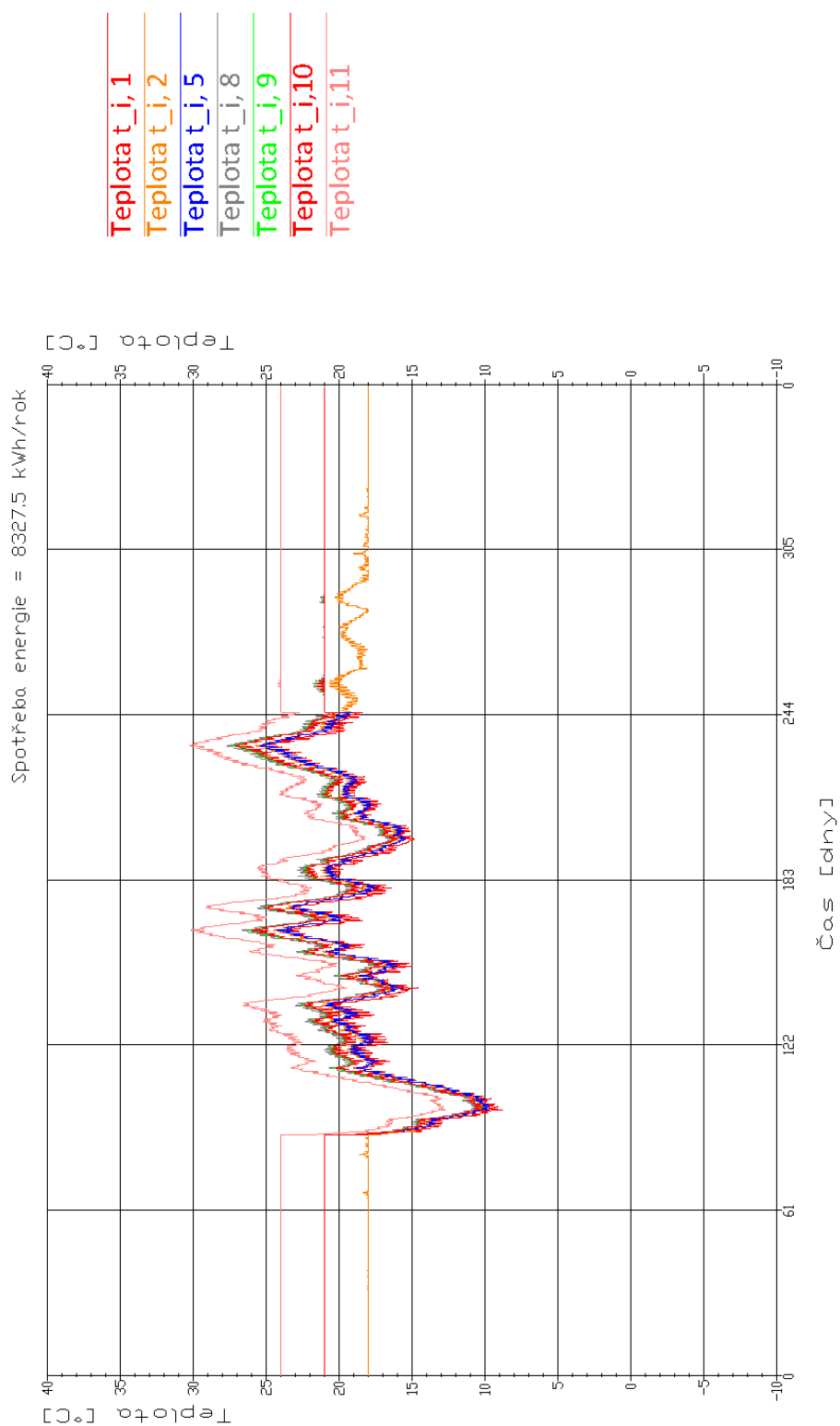
Graf 6: Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - systém ztraceného bednění z izolace s betonovým jádrem (3) - bez zohlednění energie ze slunce.



Graf 7: Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - systém z autoklávovaného pórobetonu (4) - se zohledněním energie ze slunce.



Graf 8: Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - systém z autoklávovaného pórobetonu (4) - bez zohlednění energie ze slunce.



Graf 9: Teplota vzduchu v jednotlivých místnostech domu - keramický zdící systém (1)
- se zohledněním energie ze slunce.

9.6 Hodnocení domu z hlediska obálky budovy

Tab. 15: Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla obálkou hodnoceného domu - keramický zdící systém (1), vápenopískový zdící systém (2), systém ztraceného bednění z izolace s betonovým jádrem (3) - (konstrukce se shodným U)

	Referenční budova				Hodnocená budova		
konstrukce	plocha	součinitel prostupu tepla	redukční činitel	měrná ztráta prostup. tepla	součinitel prostupu tepla	redukční činitel	měrná ztráta prostup. tepla
	A m ²	U_{N požad.} W/(m ² ·K)	b -	H_T W/K	U W/(m ² ·K)	b -	H_T W/K
Celkem započitatelná plocha výplní otvorů - oken	41,8	1,50	1,00	62,7	0,80	1,00	33,4
Celkem započitatelná plocha výplní otvorů - vstupních dveří	3,3	1,70	1,00	5,6	1,00	1,00	3,3
Celkem obvodové stěny po odečtení výplně otvorů	133,7	0,30	1,00	40,1	0,15	1,00	20,1
Celkem stěny z vytápěného do nevytápěného prostoru	30,0	0,60	1,00	18,0	0,15	1,00	4,5
Zbývající část plochy výplně otvorů započtena jako obvodová stěna	-	0,30	1,00	-	-	1,00	-
Střeška - celkem po odečtení výplně otvorů ve střeše	89,1	0,24	1,00	21,4	0,11	1,00	9,8
Podlaha na terénu	80,0	0,45	0,47	16,9	0,14	0,47	5,3
Celkem	377,9			164,7			76,4
Tepelné vazby		(377,9*0,02)		7,6	(výpočet)		4,4
Celková měrná ztráta prostupem tepla				172,3			80,8
Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy		U_{em,N} [W/(m²·K)]		0,46	U_{em} [W/(m²·K)]		0,21
Klasifikační třída obálky budovy dle normy				0,47	Třída A - Velmi úsporná		

Tab. 16: Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla obálkou hodnoceného domu - systém z autoklávovaného pórobetonu (4)

	Referenční budova				Hodnocená budova		
konstrukce	plocha	součinitel prostupu tepla	redukční činitel	měrná ztráta prostup. tepla	součinitel prostupu tepla	redukční činitel	měrná ztráta prostup. tepla
	A m²	<i>U_{N požad.}</i> W/(m²·K)	b -	<i>H_T</i> W/K	U W/(m²·K)	b -	<i>H_T</i> W/K
Celkem započitatelná plocha výplní otvorů - oken	41,8	1,50	1,00	62,7	0,80	1,00	33,4
Celkem započitatelná plocha výplní otvorů - vstupních dveří	3,3	1,70	1,00	5,6	1,00	1,00	3,3
Celkem obvodové stěny po odečtení výplně otvorů	133,7	0,30	1,00	40,1	0,18	1,00	24,1
Celkem stěny z vytápěného do nevytápěného prostoru	30,0	0,60	1,00	18,0	0,18	1,00	5,4
Zbývající část plochy výplně otvorů započtena jako obvodová stěna	-	0,30	1,00	-	-	1,00	-
Střecha - celkem po odečtení výplně otvorů ve střeše	89,1	0,24	1,00	21,4	0,11	1,00	9,8
Podlaha na terénu	80,0	0,45	0,47	16,9	0,14	0,47	5,3
Celkem	377,9			164,7			81,3
Tepelné vazby		(377,9*0,02)		7,6	(výpočet)		4,4
Celková měrná ztráta prostupem tepla				172,3			85,7
Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy		<i>U_{em,N}</i> [W/(m²·K)]		0,46	<i>U_{em}</i> [W/(m²·K)]		0,23
Klasifikační třída obálky budovy dle normy				0,50	Třída A - Velmi úsporná		

Tab. 17: Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla obálkou hodnoceného domu - dřevostavba (5)

	Referenční budova				Hodnocená budova		
konstrukce	plocha	součinitel prostupu tepla	redukční činitel	měrná ztráta prostup. tepla	součinitel prostupu tepla	redukční činitel	měrná ztráta prostup. tepla
	A m²	<i>U_{N požad.}</i> W/(m²·K)	b -	<i>H_T</i> W/K	U W/(m²·K)	b -	<i>H_T</i> W/K
Celkem započitatelná plocha výplní otvorů - oken	41,8	1,50	1,00	62,7	0,80	1,00	33,4
Celkem započitatelná plocha výplní otvorů - vstupních dveří	3,3	1,70	1,00	5,6	1,00	1,00	3,3
Celkem obvodové stěny po odečtení výplně otvorů	133,7	0,30	1,00	40,1	0,13	1,00	17,4
Celkem stěny z vytápěného do nevytápěného prostoru	30,0	0,60	1,00	18,0	0,13	1,00	3,9
Zbývající část plochy výplně otvorů započtena jako obvodová stěna	-	0,30	1,00	-	-	1,00	-
Střecha - celkem po odečtení výplně otvorů ve střeše	89,1	0,24	1,00	21,4	0,11	1,00	9,8
Podlaha na terénu	80,0	0,45	0,47	16,9	0,14	0,47	5,3
Celkem	377,9			164,7			73,1
Tepelné vazby		(377,9*0,02)		7,6	(výpočet)		4,4
Celková měrná ztráta prostupem tepla				172,3			77,5
Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy		<i>U_{em,N}</i> [W/(m²·K)]		0,46	<i>U_{em}</i> [W/(m²·K)]		0,21
Klasifikační třída obálky budovy dle normy				0,45	Třída A - Velmi úsporná		

10 SHRnutí VÝSLEDKŮ

Cílem práce bylo zhodnotit projevy fyzikálních vlastností různých staviv v budovách v nízkoenergetickém stavitelství. Práce je zaměřena především na vliv tepelně – akumulačních vlastností stavebních materiálů užívaných v budovách za účelem dosažení nízké potřeby energie na vytápění.

V experimentální části byl vybrán jeden konkrétní objekt – dvoupodlažní rodinný dům s klasickou orientací ke světovým stranám.

Tepelné chování vybraného objektu bylo hodnoceno na základě obecného numerického nestacionárního principu uspořádání tepelného systému objektu – simulace prostřednictvím programu *Stabilita*. Dále bylo vypracováno hodnocení domu z hlediska průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy.

Projevy fyzikálních a tepelně - akumulačních vlastností stavebních materiálů byly na téže objektu, pro porovnání tepelného chování domu, simulovány na pěti různých, v dnešní výstavbě běžně užívaných konstrukčně-materiálových variantách. Všechny materiálové varianty byly simulovány ve dvou sadách působení vnějších vlivů, a to ve variantě zcela bez působení sluneční energie z vnějšího prostředí na budovu a ve variantě se standardním působením slunečního záření, tedy včetně pasivních solárních zisků domu.

Tab. 18: Přehled užitých konstrukčně - materiálových variant posuzovaného domu

Pořadí	Konstrukčně - materiálová varianta objektu
1	Keramický zdící systém POROTHERM
2	Vápenopískový zdící systém SENDWIX
3	Systém stěnového ztraceného bednění z izolace s betonovým jádrem
4	Zdící systém z autoklávovaného pórobetonu YTONG
5	Lehká dřevostavba ze systému STEICO nosníků

Hlavním sledovaným údajem u všech posuzovaných variant simulací byla spotřeba energie na vytápění v zimním období. Byl zaznamenáván jak konkrétní průběh spotřeby vytápěcí energie v jednotlivých místnostech, tak kumulativní spotřeba energie za sledované období.

10.1 Hodnocení podle platné tepelně - technické legislativy

Posuzovaný objekt na základě čistě legislativního hodnocení obálky budovy vykázal téměř shodné výsledky. Svislé obvodové konstrukce vykazují v součtu velmi podobné tepelné odpory a tedy tomu odpovídající součinitele prostupu tepla. Izolační vrstvy v konstrukci střechy a v konstrukci podlahy na terénu jsou totožné.

Všechny posuzované konstrukčně - materiálové varianty domu spadají po vyhodnocení dle normy do klasifikační třídy obálky budovy s označením „A – *Velmi úsporná*“ a lze tedy o všech posuzovaných konstrukcích hovořit, z pohledu obálky budovy, jako o téměř totožných nízkoenergetických budovách.

Jednotlivé vypočtené parametry obálky budovy jsou uvedeny níže v souhrnné tabulce.

Tab. 19: Výsledky hodnocení objektu podle platné tepelně - technické legislativy

Konstrukčně - materiálová varianta objektu	Obálka budovy		
	Měrná ztráta prostupem tepla	Průměrný součinitel prostupu tepla	Klasifikační třída obálky budovy
	H_T W/K	U_{em} W/(m ² ·K)	

Hodnocení podle platné tepelně - technické legislativy

1	Keramický zdící systém	80,8	0,21	A
2	Vápenopískový zdící systém	80,8	0,21	A
3	Systém ztraceného bednění z izolace	80,8	0,21	A
4	Zdící systém z autoklávovaného pórobetonu	85,7	0,23	A
5	Lehká dřevostavba	77,5	0,21	A

10.2 Hodnocení pomocí nestacionární numerické simulace

Z pohledu hodnocení dle provedených simulací na základě nestacionárního principu uspořádání tepelného systému objektu v programu *Stabilita* se oproti čistě legislativnímu hodnocení vlastností obálky budovy projevily již výraznější rozdíly mezi posuzovanými konstrukčně materiálovými variantami objektu.

Výsledky hodnocených spotřeb energie na vytápění domu jsou uvedeny níže v tabulce.

Výraznější rozdíly jsou patrné mezi výsledky spotřeb energií u „těžkých konstrukcí“ z betonu a vápenopískových tvárníc oproti „lehčím konstrukcím“ z keramického zdícího systému, ze systému z autoklávovaného pórobetonu a z lehkých materiálů na bázi dřeva.

Při simulaci tepelného chování objektu se zohledněním příspěví energie ze slunce dosáhly obě „nejtěžší konstrukce“ spotřeby energií přibližně o 1400 kWh/rok nižší než „lehčí konstrukce“, tedy vykazují z pohledu spotřeby energie na vytápění cca o 17 % nižší energetickou náročnost.

Tyto, z pohledu energetické náročnosti, pozitivní projevy jsou přirozeným odrazem právě potenciálu vnitřních vrstev konstrukce akumulovat teplo, tedy odrazem materiálových vlastností dané konstrukce, které aktuální legislativní hodnocení nezohledňuje.

Tab. 20: Výsledky hodnocení objektu pomocí nestacionární numerické simulace

Konstrukčně - materiálová varianta objektu		Spotřeba energie na vytápění		
		E kWh/rok	E_{solar} kWh/rok	porovnání %
Hodnocení pomocí nestacionární numerické simulace				
1	Keramický zdící systém	8374	8328	100 %
2	Vápenopískový zdící systém	8363	6915	83 %
3	Systém ztraceného bednění z izolace	8410	6879	83 %
4	Zdící systém z autoklávovaného pórobetonu	8496	8328	100 %
5	Lehká dřevostavba	8199	7835	94 %

E = Spotřeba energie na vytápění celého domu za rok bez zohlednění energie ze slunce

E_{solar} = Spotřeba energie na vytápění celého domu za rok se zohledněním energie ze slunce

11 ZÁVĚR

Úspora energie je aktuální téma, které se týká každého z nás. Nejen tlak výrobců energie na zvyšování cen vede k zamyšlení, kde lze ušetřit a zbytečně neplýtvat. Na energetické jednotky je možné převést i prognózu budoucího užívání osobních aut pro provoz rodiny. Tam kde chybí místní služby, škola atd. a místo není rozumně dosažitelné veřejnou dopravou, může spotřeba energie i emise CO₂ spojené s provozem dvou a více aut v rodině být výrazně vyšší než z provozu domu.

Jedním z hlavních faktorů při návrhu a provozu budov jsou tepelně technické parametry obvodových konstrukcí. Vlivy, které na tyto konstrukce působí v podobě změn teplot, účinku vody a vlhkosti, slunečního záření je potřeba brát na zřetel při přípravě i realizaci jakékoliv stavby.

Tepelná ochrana budov prožívá v současnosti velký rozvoj. Investoři, projektanti a realizační firmy si již více či méně uvědomují její význam a snaží se své stavby náležitě tepelně izolovat. V tomto směru ale stále tak trochu pod pokličkou zůstává otázka tepelné akumulace staveb. Zda je vysoká akumulace pozitivní nebo naopak negativní záleží na konkrétní stavbě, na jejím účelu a využití. Obecně lze ale tvrdit, že vysoká tepelná akumulace je u staveb s nízkými požadavky na rychlost změny teplot v interiéru velmi prospěšná. Samotná tepelně technická norma zohledňuje tento fakt a stanovuje pro lehké konstrukce s malou akumulací vyšší tepelně izolační vlastnosti, než pro konstrukce masivní.

Tato práce se pokouší prezentovat krátkozraké legislativní hodnocení, které se omezuje pouze na některé tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů, tedy na tepelný odpor či součinitel prostupu tepla. Stavební materiály skýtají celý soubor vlastností, kterými lze ovlivnit výslednou energetickou náročnost budovy i její uživatelský komfort.

Pokud se vyčíslí kvalita obálky budovy a související tepelné ztráty stavby běžným předepsaným normovým postupem, nelze zohlednit tepelnou akumulaci stavby, takže stavba lehká i velmi masivní se shodným tepelným odporem obvodových konstrukcí poskytne výpočtové hodnocení zcela rovnocenně.

Reálná situace však bude vypadat docela jinak. Pokud je stavba dobře izolovaná a dostatečně masivní, dokáže lépe a po delší čas udržet požadovanou vnitřní teplotu, aniž by otopný systém musel dodávat další energii. Jestliže vnitřní části obvodových stěn, vnitřní stěny a stropy dokáží akumulovat dostatek tepla, působí v budově jako stabilizátor teploty v zimě i létě. Masivní konstrukce dokáží vydávat teplo do interiéru, ze kterého teplo uniká obvodovými konstrukcemi a větráním.

Vhodně využitá tepelná akumulace v budovách jako jedna ze základních vlastností stavebních materiálů i konstrukcí, znamená to velkou úsporu energie, finančních nákladů a především potenciálních přírodních zdrojů.

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN 73 0540 – 1. *Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [2] ČSN 73 0540 – 2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [3] ČSN 73 0540 – 3. *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [4] ČSN 73 0540 – 4. *Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [5] HALAHYJA, Martin. *Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie: celostátní vysokoškolská učebnice pro stavební fakulty vysokých škol*. Bratislava: Alfa, 1985. Edice stavební literatura (Alfa).
- [6] SMOLA, Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4
- [7] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. Praha: Grada, 2005. Stavitel. ISBN 80-247-1101-X.
- [8] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [9] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [10] PIVEC, Jan a Viktor ZBOŘIL. *C1 - Manuál uživatele budov s velmi nízkou spotřebou energie*. Brno: Národní stavební centrum, 2014. ISBN 978-80-87665-53-4.
- [11] *Passivhaus Institut: Darmstadt GERMANY* [online]. [cit. 2017-12-20]. Dostupné z: www.passiv.de.
- [12] NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM. *Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z programu Nová zelená úsporám - rodinné domy v rámci 3. výzvy k podání žádostí*. Státní fond životního prostředí ČR. Říjen 2015.
- [13] EU: *European Parliament resolution of 31 January 2008 on an Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential (2007/2016(INI))*.
- [14] EU: *European Parliament Council (2010) Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings*.

- [15] Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů
- [16] *Jak dosáhnout téměř nulové spotřeby energie v budovách: sborník přednášek konference : 23.4.2013, Kongresové centrum BVV, Výstaviště 1, Brno.* Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2013. ISBN 978-80-02-02456-9.
- [17] HOFMAN, Petr. *Analýza lehkých obvodových plášťů budov z hlediska tepelné stability v letním období: Diplomová práce.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství, 2014. 94 s., 114 s. příl.
- [18] YTONG. *Praktická příručka pro navrhování energeticky efektivních staveb – Tepelná technika.* Xella CZ, s.r.o. [cit. 2017-11-25]. Dostupné z <http://www.ytong.cz/prospekty.php>.
- [19] SRDEČNÝ, Karel, Martin VONKA a Gabriela KRAJCAROVÁ. *A3 - Právní předpisy, hodnocení míry udržitelnosti a energetická náročnost budov.* Brno: Národní stavební centrum, 2014. ISBN 978-80-87665-41-1.
- [20] *Tepelná ochrana budov: komentář k ČSN 73 0540.* Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. ISBN 978-80-87093-30-6.
- [21] Google: internetový vyhledávač. [online]. [cit. 2018-01-01]. Dostupné z: <http://www.google.com/images>.
- [22] Archiv autora – autorské dílo: Martin Svoboda

13 SEZNAM TABULEK

- Tab. 1:** Porovnání potřeb energie na vytápění u jednotlivých typů staveb
- Tab. 2:** Základní vlastnosti pasivních budov
- Tab. 3:** Základní požadavky na energeticky nulové budovy
- Tab. 4:** Přehled návrhových hodnot součinitele tepelné vodivosti λ materiálů
- Tab. 5:** Přehled vlastností některých materiálů užitých v praktické části práce
- Tab. 6:** Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla U_N pro budovy s převládající návrhovou vnitřní teplotou $\theta_{im} = 18$ až 22 °C podle normy z roku 2011
- Tab. 7:** Požadované hodnoty nejvyššího denního vzestupu teploty vzduchu a nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období
- Tab. 8:** Přehled vlastností některých materiálů užitých v praktické části práce II
- Tab. 9:** Užití konstrukčně - materiálové varianty posuzovaného domu
- Tab. 10:** Skladby konstrukcí - keramický zdící systém (1)
- Tab. 11:** Skladby konstrukcí - vápenopískový zdící systém (2)
- Tab. 12:** Skladby konstrukcí - systém ztraceného bednění z izolace (3)
- Tab. 13:** Skladby konstrukcí - systém z autoklávovaného pórobetonu (4)
- Tab. 14:** Skladby konstrukcí – dřevostavba (5)
- Tab. 15:** Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla obálkou hodnoceného domu - keramický zdící systém (1), vápenopískový zdící systém (2), systém ztraceného bednění z izolace s betonovým jádrem (3) - (konstrukce se shodným U)
- Tab. 16:** Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla obálkou hodnoceného domu - systém z autoklávovaného pórobetonu (4)
- Tab. 17:** Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla obálkou hodnoceného domu - dřevostavba (5)
- Tab. 18:** Přehled užitých konstrukčně - materiálových variant posuzovaného domu
- Tab. 19:** Výsledky hodnocení objektu podle platné tepelně - technické legislativy
- Tab. 20:** Výsledky hodnocení objektu pomocí nestacionární numerické simulace

14 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1:** Znázornění životního cyklu stavby
- Obr. 2:** Schéma energetických toků ve standardním a pasivním domě
- Obr. 3:** Grafické znázornění tříd energetické náročnosti budov
- Obr. 4:** Schéma roční měrné potřeby tepla na vytápění podle kategorie budov
- Obr. 5:** Schéma efektu a možnosti ovlivnění nákladů v průběhu procesu výstavby
- Obr. 6:** Dva objekty ze studie ČVUT – ilustrační foto
- Obr. 7:** Aktivní stínící prvky s integrovanými fotovoltaiickými články
- Obr. 8:** Úvodní obrázek kapitoly
- Obr. 9:** Provádění vnitřních vyzdívek z nepálených cihel za účelem zvýšení tepelné setrvačnosti budovy
- Obr. 10:** Akumulační konstrukce u lehkých dřevostaveb v podobě dřevobetonového spřaženého stropu
- Obr. 11:** Vizualizace posuzovaného domu J – V
- Obr. 12:** Vizualizace posuzovaného domu J – Z
- Obr. 13:** Vizualizace posuzovaného domu S - V

15 SEZNAM GRAFŮ

- Graf 1:** Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - keramický zdící systém (1) – se zohledněním energie ze slunce.
- Graf 2:** Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - keramický zdící systém (1) – bez zohlednění energie ze slunce.
- Graf 3:** Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - vápenopískový zdící systém (2) – se zohledněním energie ze slunce.
- Graf 4:** Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - vápenopískový zdící systém (2) - bez zohlednění energie ze slunce.
- Graf 5:** Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - systém ztraceného bednění z izolace s betonovým jádrem (3) - se zohledněním energie ze slunce.
- Graf 6:** Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - systém ztraceného bednění z izolace s betonovým jádrem (3) - bez zohlednění energie ze slunce.
- Graf 7:** Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - systém z autoklávovaného pórobetonu (4) - se zohledněním energie ze slunce.
- Graf 8:** Dodávaný tepelný výkon a spotřeba energie na vytápění v jednotlivých místnostech domu - systém z autoklávovaného pórobetonu (4) - bez zohlednění energie ze slunce.
- Graf 9:** Teplota vzduchu v jednotlivých místnostech domu - keramický zdící systém (1) - se zohledněním energie ze slunce.

16 SEZNAM SYMBOLŮ

λ	součinitel tepelné vodivosti	W/m.K
c	měrná tepelná kapacita	J/kg.K
g	gravitační zrychlení	m/s ²
M_c	zkondenzované množství vodní páry uvnitř konstrukce	kg
n_h	intenzita výměny vzduchu v místnosti	h ⁻¹
$n_{h,50}$	celková průvzdušnost obálky vzduchu při $\Delta p = 50$ Pa	h ⁻¹
n_N	intenzita výměny vzduchu v místnosti dle normy	m ³ /h
p	Tlak	Pa
R	tepelný odpor konstrukce	m ² K/W
R_{se}	přestupový tepelný odpor e	m ² K/W
R_{si}	přestupový tepelný odpor i	m ² K/W
R_T	tepelný odpor při prostupu tepla stěnou	m ² K/W
U	součinitel prostupu tepla	W/m ² K
U_{em}	prostup tepla obálkou budovy	W/m ² K
$U_{em,N}$	prostup tepla obálkou dle ČSN 73 0540	W/m ² K
ΔU	vliv tepelných mostů na prostup tepla	W/m ² K
$\Delta \varphi_i$	relativní vlhkost - bezpečnostní přírážka	-
$\theta_{ai,max}$	teplota v letním období pro kritické místnosti	°C
$\theta_{ai,max,N}$	hodnoty nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti	°C
θ_{si}	teplota konstrukce hodnocenou pomocí f_{Rsi}	°C
$\theta_{si,min}$	nejnižší požadovaná povrchová teplota	°C
$\theta_{si,max}$	nejvyšší vnitřní povrchová teplota	°C
θ_i	vnitřní teplota	°C
θ_e	vnější teplota	°C
μ	faktor difuzního odporu	-
ρ	měrná hmotnost	kg/m ³
φ	relativní vlhkost vzduchu	-
$\varphi_{i,r}$	relativní vlhkost vnitřního prostředí	-
$\varphi_{si, cr}$	relativní vlhkost kritická	-
ψ_e	lineární činitel prostupu tepla	-
ψ	fázový posun teplotního kmitu	h

17 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

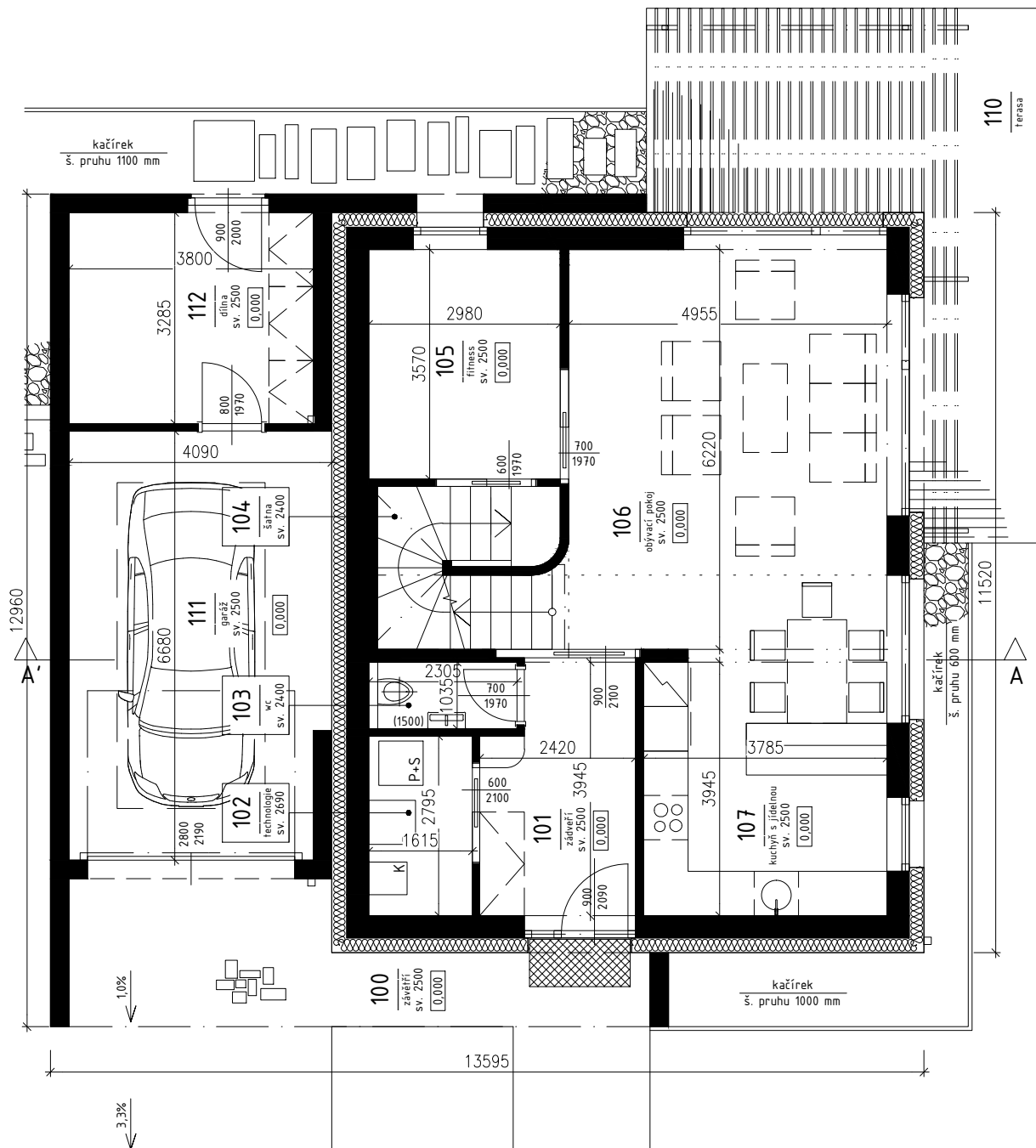
ČSN	označení českých technických norem
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci – zde označení mezinárodních norem (z angl. „ <i>International Organization for Standardization</i> “)
TNI	technická normalizační informace
ENB	energetická náročnost budovy
PENB	průkaz energetické náročnosti budovy
EPBD	Směrnice o energetické náročnosti budov
EPD	energeticky pasivní dům
EU	Evropská Unie
ČR	Česká republika
RD	rodinný dům
ETICS	fasádní kontaktní zateplovací systém
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (z angl. „ <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> “)
OZE	Obnovitelné zdroje energie
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
A	plocha
V	objem
FT	sluneční kolektor
FV	fotovoltaika
SDK	sádrokarton
OSB	lisovaná deska z orientovaně rozprostřených velkoplošných třísek (z angl. „ <i>Oriented strand board</i> “)
I.NP	první nadzemní podlaží
II.NP	druhé nadzemní podlaží
III.NP	třetí nadzemní podlaží

18 SEZNAM PŘÍLOH

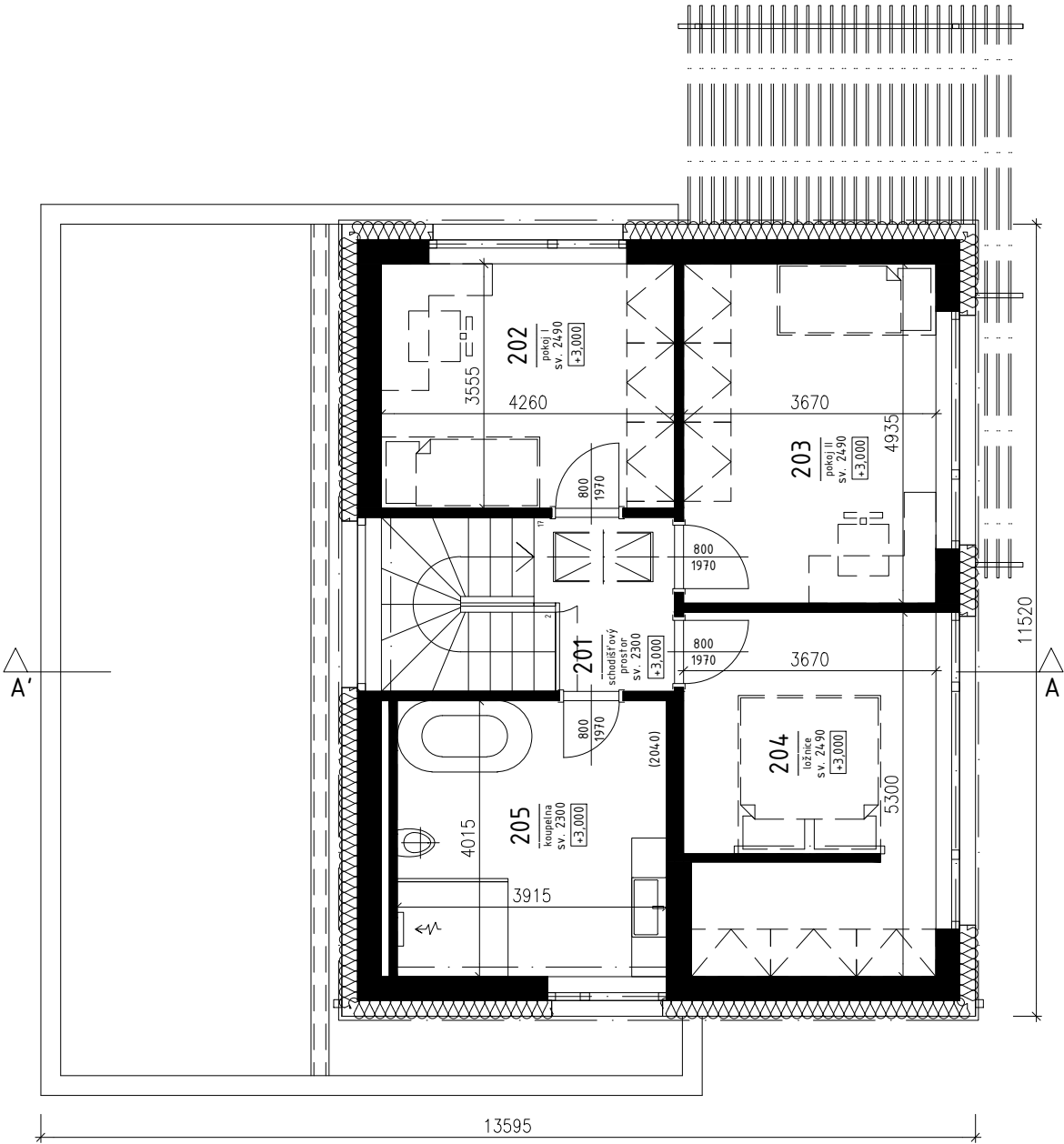
Výkresová dokumentace posuzovaného domu – studie:

1. PŮDORYS 1.NP
2. PŮDORYS 2.NP
3. ŘEZ
4. POHLEDY JIH – SEVER
5. POHLEDY VÝCHOD - ZÁPAD

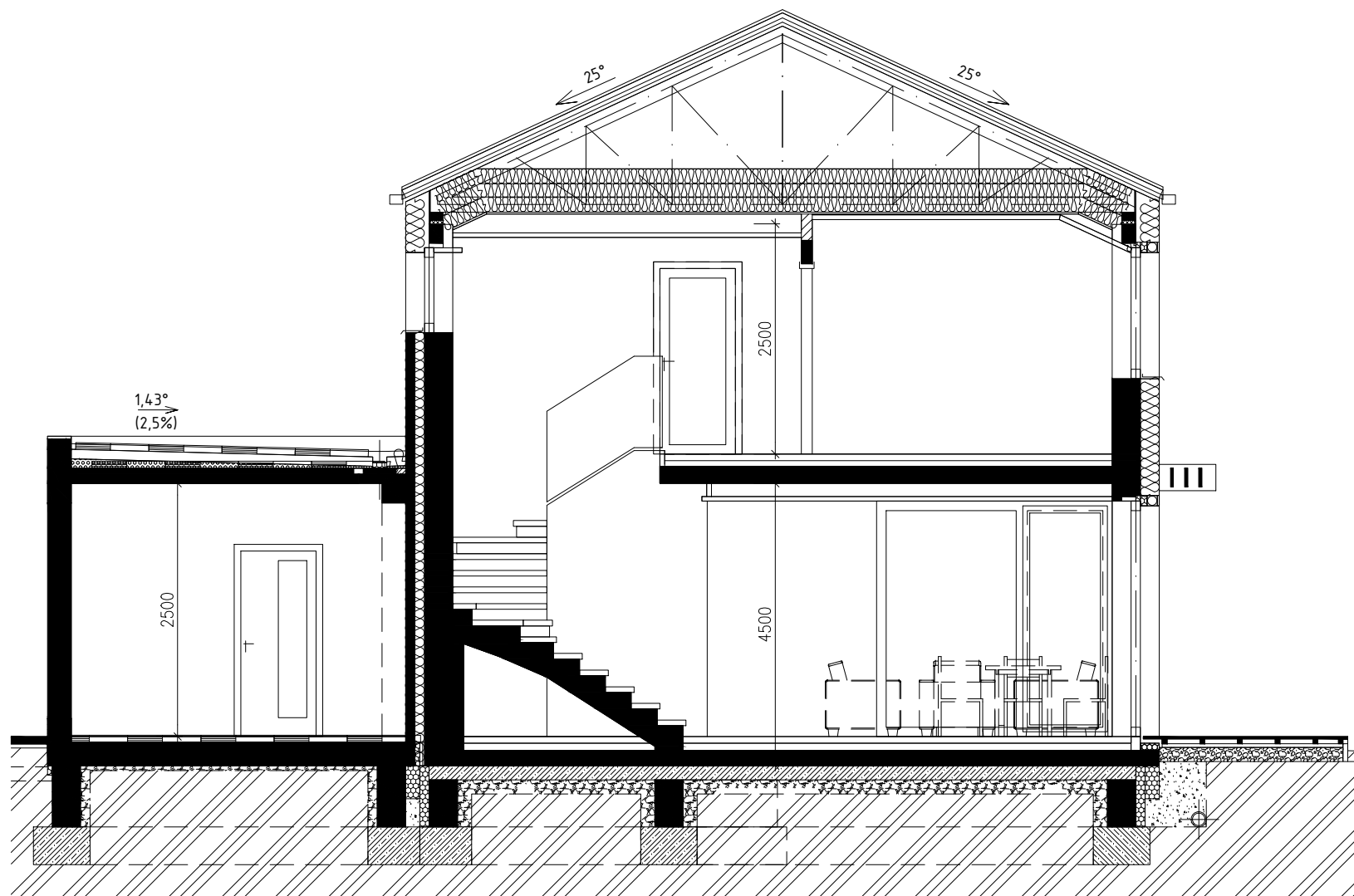
PŮDORYS 1.NP



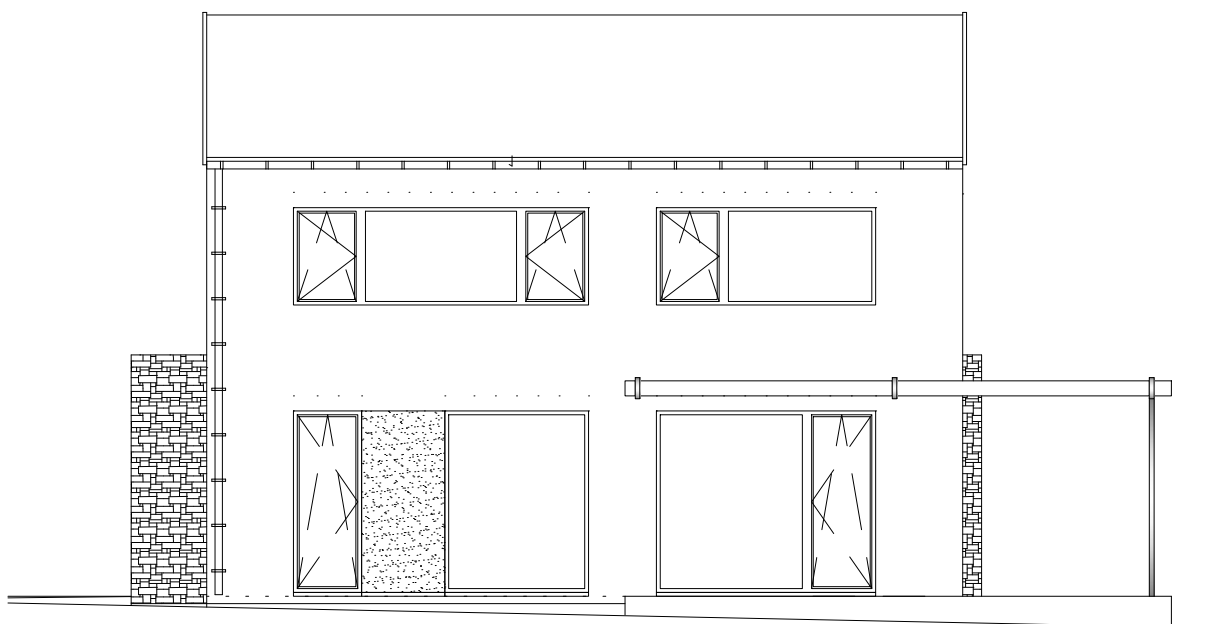
PŮDORYS 2.NP



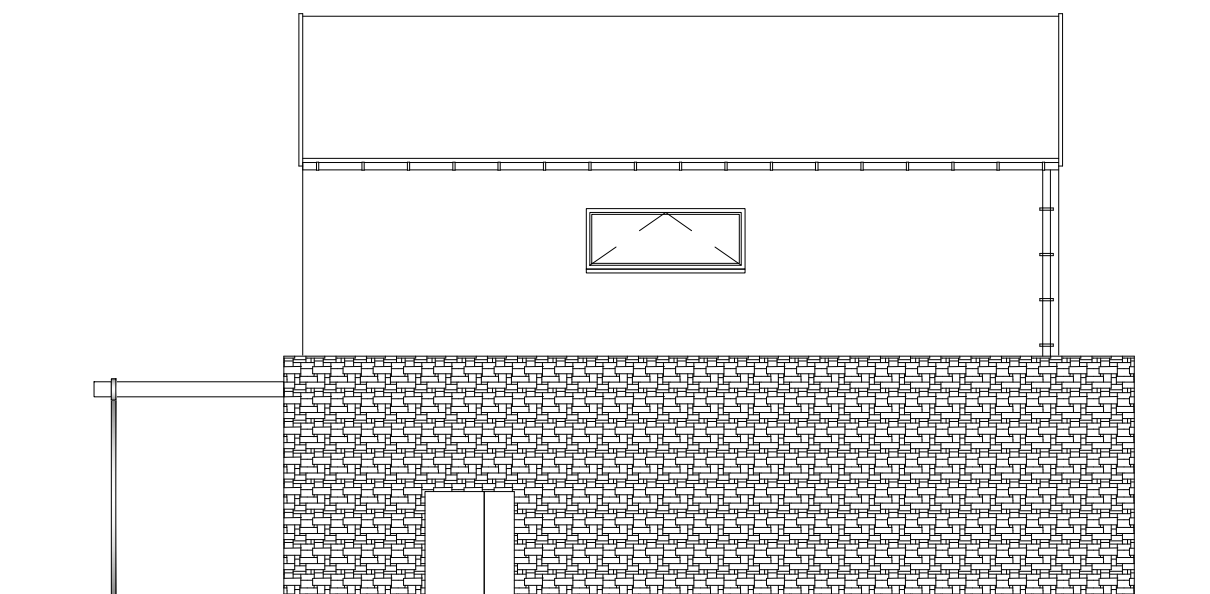
ŘEZ A-A'



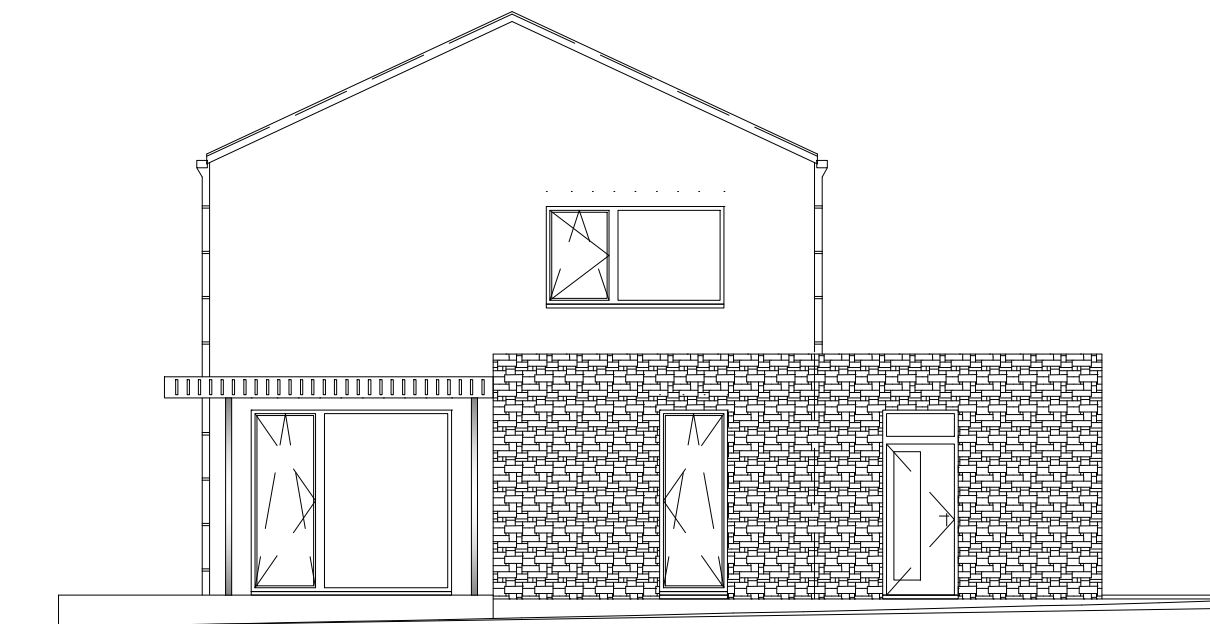
POHLED JIŽNÍ



POHLED SEVERNÍ



POHLED VÝCHODNÍ



POHLED ZÁPADNÍ

